

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА АКУСТОТЕЛЕКТРОНІКИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис)

“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка

на тему: Система діагностики основних вузлів ходової частини авто

Виконав: студент II курсу, групи ДГ-72 мп

Дворник Олександр Олександрович

(підпис)

Науковий керівник доц. кафедри ААЕ, доц., к.т.н., Берегун В.С.

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет _____ електроніки
Кафедра _____ акустики та акустoeлектроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) _____ 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Дідковський В. С.
(підпис)

«__» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Дворнику Олександру Олександровичу

1. Тема дисертації: Система діагностики основних вузлів ходової частини авто
науковий керівник дисертації _____ доц. кафедри ААЕ, доц., к.т.н. Берегун В.С. _____,
затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. № 4114с
2. Строк подання студентом дисертації _____ 10.12.2018
3. Об'єкт дослідження процес діагностики ходової частини авто.
4. Предмет дослідження: чутливість діагностичних параметрів до наявних несправностей.
5. Вихідні дані: ходова частина автомобіля, пристрій VibroSUBTest, програмне середовище Eclipse з Android 8.0 Oreo.
6. Перелік завдань, які потрібно розробити: розробка пристрою для діагностики основних вузлів ходової частини автомобіля акустичним методом. Кількість каналів не менше п'яти. Розробка програмного забезпечення для аналізу вібрацій у середовищі Windows та Android.
7. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація в Power Point.
8. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Продеус А.М., Вітик А.В., Дворник О.О., Котвицький І.В., Чайка О.С., Ярошенко М.О. Суб'єктивне оцінювання розбірливості мови на тлі шуму та реверберації // Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2018. – Вип. 23, №2. – С. 66 – 73.

2) A. Prodeus, K. Bukhta, P. Morozko, O. Serhiienko, I. Kotvytskyi, O. Dvornyk, "Automated Subjective Assessment of Speech Intelligibility in Various Listening Modes," Microsystems, Electronics and Acoustics, 2018 (в редакції).

9. Дата видачі завдання 01.09.2017 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи; складання бібліографії наукових джерел	01-30.09.2017	
2	Складання плану дипломної роботи	01.10-06.10.2017	
3	Підготовка та написання першого розділу	07.10-20.12.2017	
4	Підготовка та написання другого розділу	10.02-03.06.2018	
5	Підготовка та написання третього розділу	09.06-18.10.2018	
6	Підготовка та написання четвертого розділу	20.10-15.11.2018	
7	Написання анотації, вступу та висновків	15-17.11.2018	
8	Виправлення зауважень	19-22.11.2018	
9	Оформлення дипломної роботи	23-29.11.2018	
10	Здача оформленої роботи на кафедрі	30.11.2018	
11	Захист дипломної роботи	18.12.2018	

Студент

_____ (підпис)

О.О. Дворник

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В.С. Берегун

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація містить основну частину на 102 сторінки, 54 рисунка, 2 додатка. Метою роботи є розробка нового методу діагностування основних вузлів підвіски акустичними методами.

Результатом є розрахунок основних параметрів вібродіагностики для ходової частини авто, створення методу діагностування основних вузлів підвіски та зовнішнього оформлення універсального програмного забезпечення, яке не поступається аналогам на ринку.

Галузь застосування: приладобудування, автомобілебудування, вібродіагностика.

Ключові слова: *діагностування авто, ходова частина авто, вібрація, оцінка, вібраційні діагностичні сигнали, коефіцієнт ексцесу, підшипники кочення, діагностування, віброаналізатор, віброметр, акселерометр, підсилювач заряду, аналого-цифровий перетворювач, фільтр.*

ZUSAMMENFASSUNG

Die Masterarbeit enthält den Hauptteil auf 102 Seiten, 54 Abbildungen, 2 Anhänge. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer neuen Methode zur Diagnose der Hauptkomponenten der Aufhängung durch akustische Methoden.

Das Ergebnis ist die Berechnung der Grundparameter der Schwingungsdiagnostik für das Chassis des Autos, die Schaffung einer Methode zur Diagnose der Hauptkomponenten der Aufhängung und die externe Konstruktion universeller Software, die den marktüblichen Analoga nicht nachsteht.

Anwendungsbereich: Instrumentierung, Automotive, Schwingungsdiagnostik.

Schlüsselwörter: *Diagnose des Fahrzeugs, Fahrgestell des Autos, Vibration, Schätzung, Vibrationsdiagnosesignale, Überschusskoeffizient, Wälzlager, Diagnose, Vibrationsanalysator, Vibrometer, Beschleunigungsmesser, Ladungsverstärker, Analog-Digital-Wandler, Filter.*

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация содержит основную часть на 102 страницы, 54 рисунка, 2 приложения. Целью работы является разработка нового метода диагностирования основных узлов подвески акустическими методами.

Результатом является расчет основных параметров вибродиагностики для ходовой части авто, создание метода диагностики основных узлов подвески и внешнего оформления универсального программного обеспечения, не уступает аналогам на рынке.

Область применения: приборостроение, автомобилестроение, вибродиагностика.

Ключевые слова: *диагностирование авто, ходовая часть авто, вибрация, оценка, вибрационные диагностические сигналы, коэффициент эксцесса, подшипники качения, диагностирования, виброанализатор, виброметр, акселерометр, усилитель заряда, аналого-цифровой преобразователь, фильтр.*

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	8
Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТО.....	10
1.1.Основні поняття діагностування	10
1.2.Основні завдання діагностики.....	17
1.3.Основні вузли ходової частини авто.....	20
1.4.Наявні методи діагностування ходової частини авто	26
Висновки до першого розділу.....	30
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ	31
2.1.Основні теоретичні відомості для дослідження вібраційних явищ.....	32
2.2.Особливості спектрального аналізу	41
2.3.Особливості кореляційного аналізу	50
2.4.Оцінювання рівнів вібрації по амплітуді	53
Висновки до другого розділу	58
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТО.....	59
3.1.Розробка структурної схеми діагностування	60
3.2.Визначення проблемних частин ходової частини авто	62
3.3.Побудова та тестове діагностування програмного забезпечення.....	69
Висновки до третього розділу	86
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	87
Висновки до четвертого розділу.....	102
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	104
ДОДАТОК А.....	108
ДОДАТОК Б	109

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

АРКС – авторегресії та ковзного середнього

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ВП – випадковий процес

ВСП – випадковий стаціонарний процес

ДТП – дорожньо-транспортна пригода

ККД – коефіцієнт корисної дії

КС – ковзного середнього

ПК – персональний комп'ютер

ТЗ – технічне завдання

ТО – технічне обслуговування

ТТХ – тактико-технічні характеристики

ФНЧ – фільтр низьких частот

ШПФ – швидке перетворення Фур'є

Вступ

Збереження життя пасажирів під час пересування автотранспортом є досить актуальною проблемою, адже за статистикою [1] кількість аварій з летальним результатом переважає 1,5 млн. чоловік на рік. Великий відсоток (близько 40%) аварій спричинені виходом із ладу основних вузлів підвіски. Під час експлуатації автомобіля на пасажирів діють вібрації, що спричиняють неуважність за кермом та збільшують ризик потрапляння у ДТП. Дослідження вібраційних явищ при пересуванні автомобіля актуальна та водночас складна тема. Людство дослідило багато аспектів вібраційних явищ, однак, точно передбачити коли саме та яка вібрація буде в тому чи іншому місці неможливо.

З ростом виробничих потужностей та автоматизацією виробництва збільшилась кількість різноманітних автомобілів, а отже і збільшилась імовірність виходу з ладу основних вузлів. Це зумовлено тим, що машини працюють в умовах сильної вібрації.

Для запобігання виникнення поломок та повного виходу із ладу необхідно проводити періодичне діагностування автомобілів. Для цього використовуються віброметри, пристрої для реєстрацій вібрацій. Приладів, що вимірюють прискорення існує досить багато, але кожен з них має свої недоліки. Загальними недоліками є те, що вони не універсальні та досить дорогі. Тому необхідним є розроблення методу виявлення поломок на ранньому етапі, який не буде мати недоліків та давати надійні результати.

Світ технологій розвивається безперервно і динамічно. З кожним роком з'являються нові концепції та їх реалізації, а існуючі розширюють свої функціональні характеристики і можливості.

Метою дисертації є розробка методу діагностування основних вузлів ходової частини автомобіля, систематизація, закріплення і розширення теоретичних знань, отриманих у процесі навчання та їх практичне використання при вирішенні конкретних інженерних, наукових, економіко-соціальних і виробничих питань у професійній діяльності [2].

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ

1.1. Основні поняття діагностування

Технічне діагностування (контроль технічного стану) — визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю [3].

Завданням технічного діагностування є:

- встановити показники і характеристики діагностування;
- забезпечити пристосованість виробу до технічного діагностування;
- розробити діагностичне забезпечення виробу.

Забезпечення пристосованості виробу до технічного діагностування повинно проводитися відповідно до вимог [4]. Показники та характеристики діагностування, вимоги щодо пристосованості виробу до діагностування та діагностичного забезпечення виробу повинні включатися до технічного завдання стандартів на конкретні види продукції та документацію, що розробляється в процесі проведення дослідно-конструкторських робіт.

Об'єктом діагностики може бути технічний пристрій або його елемент. Найпростішим об'єктом діагностики є кінематична пара. Як об'єкт діагностики може виступати агрегат будь-якої складності.

Об'єкт діагностики можна розглядати в двох аспектах:

- з точки зору структури;
- з точки зору способу функціонування.

Кожен з аспектів має свої особливості, що описуються своєю системою понять. Структура об'єкта визначається відомими йому функціями. При структурному підході мають справу з розмірами і формою деталей, з зазорами в кінематичних парах та ін. Властивостями елементів об'єкта, що забезпечують його нормальну роботу. Основним поняттям діагностики, пов'язаним зі структурним аспектом, буде стан об'єкта.

Властивості структури об'єкта в певний момент часу можуть бути охарактеризовані сукупністю параметрів x_1, x_2, \dots, x_n . Параметри x_1 – величини змінні. При виготовленні об'єкта вони залежать від різних технологічних факторів, а в період експлуатації – від ступеня зносу і руйнування деталей.

Щоб задати початок відліку параметра ХГ, вводиться поняття ідеального об'єкта. Під ідеальним об'єктом мається на увазі уявна система, структура якої з абсолютною точністю відповідає проекту. В ідеальному об'єкті відсутні які б то не було порушення і дефекти. Всі реальні об'єкти в тій чи іншій мірі відрізняються від ідеального. Позначимо x_i^0 значення параметра стану ідеального об'єкта:

$$x_i = x_i - x_i^0.$$

Тоді різниця буде характеризувати відхилення i -го параметра, що діагностується від параметра ідеального прототипу (від номіналу).

Очевидно, що властивості структури об'єкта можуть бути охарактеризовані різними наборами параметрів. Таким чином, між деякими параметрами структури об'єкта можливі залежності виду:

$$x_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Таким чином, технічний стан машин і механізмів характеризується структурними параметрами, зміна яких є причиною зміни технічного стану. Структурними параметрами є параметри деталей, їх взаємне розташування – розміри, зазори, перекося, порушення геометрії, витратні характеристики і т.д. Таким чином, технічний стан об'єкта визначається сукупністю технічних параметрів, що характеризують можливе відхилення функціонування об'єкта від нормального, що призводить до відмови.

У загальному випадку, на сукупність параметрів структури x накладається умова мінімальності. Сукупність параметрів буде мінімальною, якщо жодна з цих величин не може функціонально виражатися через значення інших параметрів, що входять в сукупність.

Крім мінімальності, сукупність параметрів, що описують структуру механізму, повинна задовольняти умові повноти. Сукупність параметрів x буде повною, якщо знання їх величини дозволяє приймати однозначні рішення про необхідність ремонту та обслуговування механізму. Станом об'єкта називають повну мінімальну сукупність параметрів структура характеризується відхилення структури об'єкта від структури ідеального прототипу.

При функціональному підході об'єкт розглядається як єдина система, яка породжує різні процеси. Будь-який працює об'єкт породжує багато різних по фізичній природі процесів: віддає механічну енергію, випромінює тепло і акустичні коливання і т.д. Всі ці процеси можна охарактеризувати кількісно сукупності параметрів. Величина цих параметрів залежить від стану об'єкта і від режиму його роботи (швидкості, навантаження і т.д.). Якщо режим роботи об'єкт під час діагностики строго регламентується, то будь-яка зміна величини зазначених параметрів має бути наказано зміни форми, розмірів і т.д., тобто зміни стану об'єкта. На підставі цього параметри вихідних процесів об'єкта розглядають як функції стану: x_1, x_2, \dots, x_n .

Для кожного виду об'єктів можна визначити нескінченне число функцій стану, оскільки будь-яка функція від функції стану також є функцією стану. Група функцій стану, заснована на критеріях ефективності об'єкта, являє собою числові характеристики здатності об'єкта виконувати задану роботу, тобто показники характеризують роботу об'єкта. Найбільш часто застосовуються такі показники, як ККД, продуктивність і т.д.

Інша група функцій стану включає в себе числові характеристики різних процесів, тобто параметри діагностичного сигналу, супутні роботі об'єкта (супроводжуючі роботу об'єкта) і доступні для безпосереднього вимірювання. Самі по собі процеси, що утворюють діагностичний сигнал, як правило, не мають істотного значення з точки зору працездатності об'єкта і тому в машинознавстві, за винятком діагностики, зазвичай не вивчаються. Але в діагностики їх роль істотна: вони служать джерелом інформації про стан об'єкта.

В процесі пошуку несправностей здійснюється поділ складові об'єкта на класи не розрізняються між собою несправностей.

Число класів (отже, число входять в них несправних перебуваючи ний) визначає досягається при пошуку несправностей деталізацію місць несправностей. Цю ступінь деталізації в технічній діагностиці прийнято називати глибиною пошуку або глибиною діагностування.

Характеристики діагностичного сигналу, що містять інформацію про параметри технічного стану об'єкта, називають діагностичними ознаками стану.

Розмірності сукупності структурних параметрів і сукупності діагностичних ознак в принципі обмежені, що й обумовлює розвиток технічної діагностики.

Практичне ж рішення прикладних задач діагностики полягає в тому, щоб знайти такі діагностичні ознаки, які однозначно пов'язані з відповідними структурними параметрами, визначальними основні причини деградації технічного стану об'єкта. Ці діагностичні ознаки повинні бути практично взаємно статистично незалежні між собою і повинні відповідати взаємно статистично незалежним між собою класів несправностей і дефектів об'єкта. Слово "практично" відображає наявність взаємозв'язків між усіма дефектами і діагностичними ознаками як об'єктивного властивості природи.

Процеси, які супроводжують роботу об'єкта і перенесення інформації, можна уявити як функції часу. Такими функціями часу можуть бути температура охолоджуючої рідини, витрата енергії, рівень шуму та багато інших процесів.

Діагностування можна побудувати на такому принципі. Використовуючи датчики, з високою інерційністю або інтегруючи сигнал з датчика в спеціальному пристрої, можна охарактеризувати процес однієї постійною величиною – середнім значенням змінюється параметра. Якщо середнє значення свідомо дорівнює нулю, то в якості характеристики протікання процесу можна взяти його дисперсію. У деяких випадках процес може бути

охарактеризований максимальним значенням змінюється параметра, наприклад, процес в циліндрі двигуна – максимальним індикаторним тиском.

Оскільки стан об'єкта зазвичай описується не одним, а цілою сукупністю параметрів, то при зазначеній вище обробці сигналів для однозначного діагностування об'єкта потрібно використовувати велику кількість різноманітних процесів. Але діагностування може бути побудовано і на іншому принципі. Замість того щоб реєструвати і усереднювати велике число різних процесів, реєструється тільки один з них, але для його аналізу використовується такий спосіб обробки сигналу, з якого витягується вся діагностична інформація. Системи діагностики, побудовані на першому принципі, можна назвати статичними, оскільки вони мають справу з постійними значеннями сигналу. Системи, побудовані на другому принципі, називають динамічними, так як вони оперують зі змінними сигналами, головним чином мають коливальний характер. Такі сигнали мають складну часову і спектральну структуру, тому здатні переносити великі обсяги інформації.

Використання всього одного процесу замість безлічі різнорідних по фізичній природі процесів слід вважати перевагою динамічної системи діагностики в порівнянні зі статичною.

Існує кілька причин, що викликають коливання об'єкта. Одна з них пов'язана з неврівноваженістю рухомих деталей. Вона змушує механізм коливатися як єдине ціле щодо положення рівноваги. Ці коливання (вібрації) характеризуються низькими частотами (десятки, рідше сотні Гц), порівняно великими амплітудами переміщення і малими прискореннями. Основна частота вібрацій об'єкта дорівнює числу обертів вала, на якому є незбалансована маса, в секунду. Можуть спостерігатися також гармоніки, кратні основній частоті. Залежність частоти вібрацій від швидкісного режиму об'єкту є характерною рисою цього виду коливань, що дозволяє їх легко виявити і виділити. Амплітуда вібрацій пропорційна квадрату кутової швидкості обертання вала; вона залежить також від маси об'єкта і від

жорсткості кріплення його до фундаменту. Цей вид коливань називають вібрацією.

Таким чином, вібрація – це механічні коливання тіла. Найпростіший вид вібрації – це коливання або повторюється рух об'єкта біля положення рівноваги. Цей тип вібрації називається загальною вібрацією, тому що тіло переміщається як єдине ціле і всі його частини мають однакову за величиною і напрямком швидкість. Положенням рівноваги називають такий стан, в якому тіло перебуває в стані спокою або яке воно займе, якщо сума діючих на нього сил дорівнює нулю.

Коливальний рух твердого тіла може бути повністю описано у вигляді комбінації шести найпростіших типів руху: поступального в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (x, y, z в декартових координатах) і обертального щодо трьох цих осей (Ox, Oy, Oz). Будь-яке складне переміщення тіла можна розкласти на ці шість складових. Тому про такі тіла кажуть, що вони мають шість ступенів свободи.

Уявімо собі якийсь об'єкт, переміщення якого обмежені одним напрямком, наприклад, маятник настінного годинника. Така система називається системою з одним ступенем свободи, тому що становище маятника в будь-який момент часу може бути визначено одним параметром – кутом в точці закріплення. Іншим прикладом системи з одним ступенем свободи є ліфт, який може переміщатися тільки вгору і вниз уздовж стовбура шахти.

Вібрація тіла завжди викликається якимись силами збудження. Ці сили можуть бути додані до об'єкта ззовні або виникати всередині нього самого. Вібрація конкретного об'єкта повністю визначається силою збудження, її напрямком і частотою. Саме з цієї причини вібраційний аналіз дозволяє виявити сили збудження при роботі об'єкта. Ці сили залежать від стану об'єкта, і знання їх характеристик і законів взаємодії дозволяє діагностувати вади останнього.

В даний час технічну діагностику, засновану на аналізі вібрації об'єкта діагностування, прийнято називати вібраційної діагностикою. З іншого боку неруйнівного контролю, заснований на вимірюванні пружних коливань, порушуваних або виникають в об'єкті контролю, називають вібраційним неруйнівним контролем. Ще одне джерело коливань об'єкта служать зіткнення його деталей. Вони відрізняються високими частотами (тисячі Гц), малими амплітудами зміщення (частки мкм) і значними прискореннями (сотні см/с). Частоти цього виду коливань визначаються розмірами, формою і пружними константами матеріалу деталей. Їх амплітуда пропорційна швидкості зіткнення деталей. Коливання об'єкта, порушені зіткненням деталей, називають акустичними коливаннями або структурним шумом. У першому називанні підкреслюється їх фізична природа, зокрема, той факт, що ці коливання аналогічні іншим акустичним явищам, пов'язаним з поширенням пружних хвиль в газах, рідинах і твердих тілах. Коливання називають шумом незалежно від їх фізичної природи, якщо вони мають широкий спектр з безперервним розподілом складових по осі частот. Для аналізу шумів використовуються статистичні методи.

Вибір термінології диктується аспектом, під яким розглядається досліджуване явище. Основна увага необхідно приділяти фізичним властивостям коливань об'єкта, процесам їх порушення і поширення. У зв'язку з цим коливання об'єкта, породжені зіткненням його деталей, зазвичай називають акустичними. З акустикою зазвичай пов'язують уявлення про хвилях, що поширюються в повітрі, рідше – в рідині. В останньому випадку її називають гідроакустики. Коливання, які служать сигналом в акустичній діагностиці, реєструються датчиком, встановленим безпосередньо на об'єкті, а діагностику, засновану на їх аналізі, акустичної діагностикою. У акустичної діагностики вся необхідна інформація про стан об'єкта витягується з пружного коливання, яке поширюється по його корпусу під час роботи об'єкта. Параметрами діагностичного сигналу графічних параметрів акустичного коливання, що збуджується в матеріалі об'єкта.

З точки зору методів технічної діагностики і неруйнівного контролю сьогодні метод пасивного акустичного неруйнівного контролю, заснований на аналізі параметрів вібрації, що виникає при роботі об'єкта контролю, називають вібраційно діагностичним методом. Вібрація об'єкта в акустичній діагностиці є перешкодою, і її прагнуть придушити.

Тому при комплексній діагностиці вимірюють коливань обох видів, а сигнал називають віброакустичними. Таким чином, узагальнено, віброакустичними сигналами називають фізичні величини, що характеризують механічні коливання (вібраційні, акустичні, гідроакустичні), які супроводжують функціонування об'єкта, а діагностику – віброакустичною.

1.2. Основні завдання діагностики

Технічна діагностика вивчає методи отримання та оцінки діагностичної інформації, діагностичні моделі і алгоритми прийняття рішень. Метою технічної діагностики є підвищення надійності та ресурсу технічних систем.

У загальному вигляді завдання діагностування допустимо розглядати як двоїсту задачу: завдання побудови характеристики класу станів, якому належить сукупний віброакустичний образ, і завдання прийняття рішення про приналежність до одного з класів станів випробуваного віброакустичного образу. При цьому слід враховувати, що збільшення числа залежних діагностичних ознак не сприяє більш повному опису об'єкта діагностування і надійному розпізнаванню.

Діагностика як наука про розпізнавання стану технічної системи визначає такі основні завдання в галузі діагностування стану машинного обладнання

- визначення технічного стану, в якому знаходиться обладнання в минулому (генезис), сьогодення (діагноз) і майбутньому (прогноз);
- пошук місця і визначення причин несправності;

- контроль технічного стану, тобто визначення виду технічного стану. Видами технічного стану є справний і несправний, працездатний і непрацездатний і т.д.

Вирішення цих завдань необхідно для організації технічного обслуговування обладнання по фактичному технічному стану, замість обслуговування по ресурсу. Крім того, це дозволяє реалізувати безпечну експлуатацію обладнання всіх галузей промисловості.

Алгоритм віброакустичного діагностування може бути представлений у вигляді функціональної схеми (рис. 1.1) [5]. Як і будь-який алгоритм або схема розпізнавання образів, схема віброакустичного діагностування технічного об'єкта складається з власне об'єкта діагностування з набором технічних станів, що підлягають розпізнаванню, набору діагностичних ознак, вирішальних правил і правил прийняття рішення.



Рис. 1.1. Функціональна схема системи віброакустичної діагностики.

Вимірювання забезпечує вихідною інформацією про стан об'єкта, що міститься в вимірюваних сигналах.

Формування діагностичних ознак технічного стану об'єкта і окремих його елементів дозволяє виділити такі характеристики вимірюваних сигналів, які мають необхідними виборчими властивостями до заданого класу дефектів, що підлягають розпізнаванню.

На підставі навчання діагностичної системи для кожного класу технічних станів формуються еталони (усереднені для даного класу значення діагностичних ознак).

Для формування системи діагностичних ознак і еталонів використовують діагностичну модель об'єкта, в ряді випадків полегшує процес пошуку інформативних компонент в досліджуваному сигналі.

Класифікація – це набір класифікуючих функцій, за допомогою яких проводиться розпізнавання параметрів віброакустичного сигналу.

Функція прийняття рішень – визначення фактичного стану (постановка діагнозу) об'єкта діагностування та його елементів за поточними значеннями діагностичних ознак. Характеристики зміни останніх у часі є вихідними для реалізації алгоритмів попередження (прогнозу) потенційних відмов.

Функція управління об'єктом відповідно до прийнятого рішення про його фактичний стан забезпечує: аварійне відключення, переключення на щадний режим, включення резервів і т.д.

При проведенні діагностики важливими є правила при яких приймається рішення про діагноз об'єкта дослідження. У методах статистичних рішень вирішальне правило вибирається виходячи з деяких умов оптимальності, наприклад з умови мінімуму ризику.

Нехай проводиться діагностика стану об'єкту дослідження (параметр x). Завдання полягає у виборі значення x_0 параметра x таким чином, що при $x > x_0$ слід приймати рішення про те, що діагностуюча модель вийшла із ладу, а при $x < x_0$ допускається подальша робота. Так як стан системи характеризується одним параметром, то система має одновимірний простір ознак. Поділ проводиться на два класи (диференціальна діагностика або дихотомія).

Нехай D_1 відсутність дефекту, а D_2 – наявність його, тоді правило рішення має наступний вигляд:

при $x < x_0$, $x \in D_1$, а при $x > x_0$, $x \in D_2$.

Бувають ситуації, коли система видає помилкові рішення. Хибною тривогою називається випадок, коли приймається рішення про наявність дефекту, але в дійсності система знаходиться в справному стані (замість D_1 приймається D_2). Пропуск цілі – прийняття рішення про справність об'єкту дослідження тоді як він містить дефект (замість D_2 приймається D_1).

В рамках даної роботи буде розроблено метод діагностики з урахуванням вище зазначених даних (рис. 1.1).

1.3. Основні вузли ходової частини автомобіля

В широкому сенсі ходова частина – це сукупність агрегатів і вузлів сухопутних транспортних засобів та інших самохідних машин змонтована на спільній рамі.

Ходова частина (рис. 1.2) призначена для переміщення автомобіля по дорозі без тряски і вібрацій, з певним рівнем комфорту в залежності від марки та моделі авто. Деталі й механізми ходової частини пов'язують колеса з кузовом автомобіля, гасять коливання і вібрації, сприймають і передають рушійні сили, що діють на автомобіль.



Рис. 1.2. Ходова частина

Перебуваючи в салоні легкового автомобіля під час пересування, водій і пасажери відчують коливання: повільні – з великими амплітудами, і шкідливі швидкі коливання з малими амплітудами. Для захисту від швидких коливань призначена м'яка оббивка сидінь, гумові опори двигуна, коробки передач і так далі. Захистом від повільних коливань виступають пружні елементи підвіски, колеса (диски) і шини.

Підвіска (рис. 1.3) призначена для пом'якшення та гасіння коливань переданих від нерівностей дороги на кузов автомобіля. Завдяки підвісці коліс кузов здійснює вертикальні, поздовжні, кутові і поперечно-кутові коливання. Всі ці коливання визначають плавність ходу автомобіля.

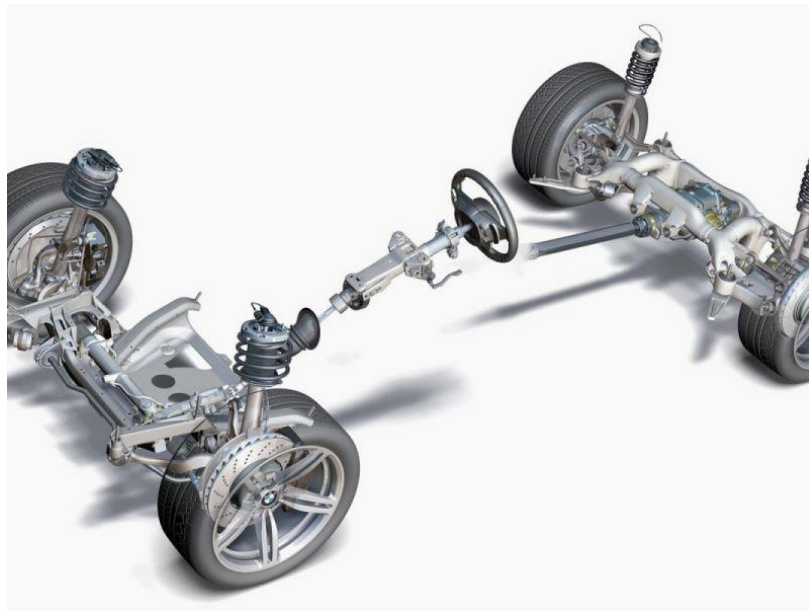


Рис. 1.3. Підвіска автомобіля BMW

Підвіска може бути залежною і незалежною. Залежна підвіска (рис. 1.4) це коли обидва колеса однієї осі автомобіля пов'язані між собою жорсткою балкою. При наїзді на нерівність дороги одного з коліс, друге нахиляється на той же кут.

Незалежна підвіска (рис. 1.5) це коли колеса однієї осі автомобіля не пов'язані жорстко між собою. При наїзді на нерівність дороги, одне з коліс може змінювати своє положення, не змінюючи при цьому положення другого колеса.

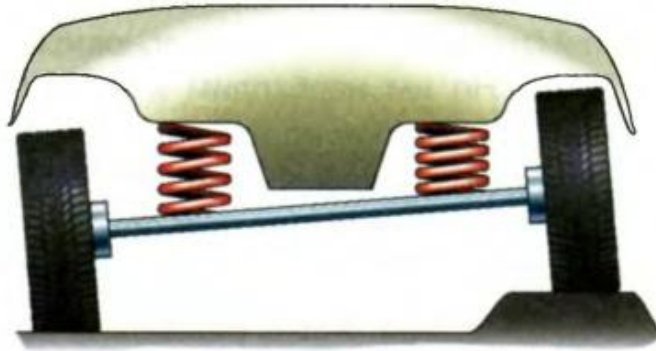


Рис. 1.4. Залежна підвіска

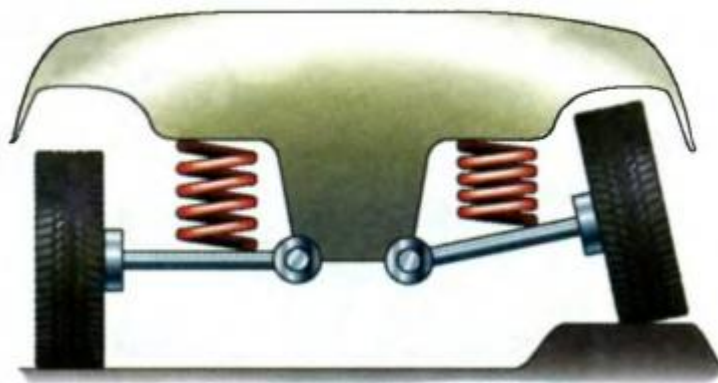


Рис. 1.5. Незалежна підвіска

Таким чином, щоб автомобіль забезпечував комфорт і безпеку, між кузовом і дорогою повинні бути:

- шини;
- основні пружні елементи;
- додаткові пружні елементи;
- напрямні пристрої підвісок;
- демпферні елементи.

Шини першими в автомобілі сприймають нерівності дороги і, наскільки це можливо, в силу їх обмеженої пружності, пом'якшують коливання від профілю дороги. Шини можуть служити індикатором справності підвіски: швидкий і нерівномірний (плямами) знос шин свідчить про зниження сил опору амортизаторів нижче допустимої межі.

Основні пружні елементи (пружини, ресори) (рис. 1.6) утримують кузов автомобіля на одному рівні, забезпечуючи пружний зв'язок автомобіля з дорогою.



Рис. 1.6. Пружини підвіски

В процесі експлуатації пружність пружин міняється внаслідок старіння металу або через постійну перевантаження, що призводить до погіршення характеристик автомобіля: зменшується висота дорожнього просвіту, змінюються кути установки коліс, порушується симетричність навантаження на колеса. Пружини, а не амортизатори утримують вагу автомобіля. Якщо дорожній просвіт зменшився і автомобіль «просів» без навантаження, значить, прийшов час міняти пружини.

Додаткові пружні елементи (резинометалеві шарніри або буфери стиснення) відповідають за придушення високочастотних коливань і вібрацій від дотику металевих деталей. Без них термін служби елементів підвіски різко скорочується (зокрема в амортизаторах: через усталосний знос клапанних пружин). Регулярно перевіряйте стан гумових з'єднань підвіски. Підтримуючи їх працездатність, Ви збільшите термін служби амортизаторів.

Напрямні (системи важелів, ресори або торсіони) забезпечують кінематику переміщення колеса щодо кузова. Завдання цих пристроїв в тому, щоб зберігати площину обертання колеса рухається вгору при стисненні підвіски і вниз при відбої) в положенні близькому до вертикального, тобто перпендикулярно дорожнього полотна. Якщо геометрія направляючого пристрою порушена, поведінка автомобіля різко погіршується, а знос шин і всіх деталей підвіски, в тому числі і амортизаторів, значно прискорюється.

Демпферний елемент (амортизатор) (рис. 1.7) гасить коливання кузова, викликані нерівностями дороги і інерційними силами, а отже, зменшує їх вплив на пасажирів і вантаж. Він також перешкоджає коливань без пружинних мас (мости, балки, колеса, шини, осі, маточини, важелі, колісні гальмівні механізми) щодо кузова, поліпшуючи тим самим контакт колеса з дорогою.



Рис. 1.7. Амортизатор фірми Freightliner

Стабілізатор поперечної стійкості (рис 1.8) автомобіля призначений для підвищення керованості і зменшення крену автомобіля на поворотах. На повороті кузов автомобіля одним своїм боком притискається до землі, в той час як другий бік відривається від землі. Стабілізатор, який, притулившись до землі одним кінцем, другим своїм кінцем притискає і іншу сторону автомобіля. А при наїзді будь-якого колеса на перешкоду, стрижень стабілізатора закручується і прагне швидше повернути це колесо на своє місце.

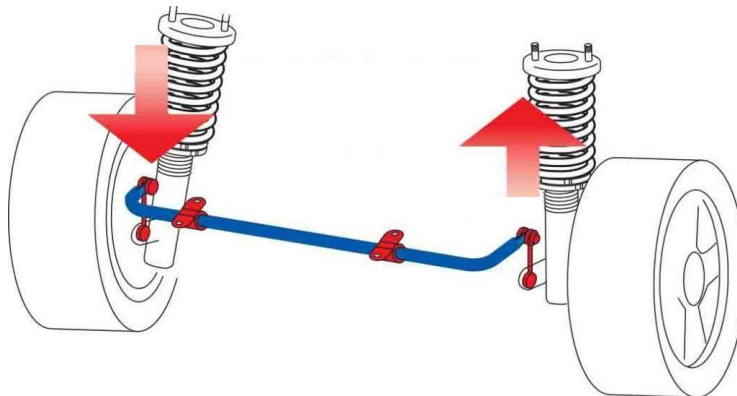


Рис. 1.8. Стабілізатор поперечної стійкості

При жорсткому кріпленні удар об нерівність повністю передається кузову, лише трохи пом'якшити шиною, а коливання кузова має велику амплітуду і істотне вертикальне прискорення. При введенні в підвіску пружного елемента (пружини або ресори), поштовх на кузов значно пом'якшується, але внаслідок інерції кузова коливальний процес затягується в часі, роблячи управління автомобілем важким, а рух небезпечним. Автомобіль з такою підвіскою розгойдується у всіляких напрямках, і висока ймовірність «пробою» при резонансі (коли поштовх від дороги збігається зі стисненням підвіски протягом тривалого коливального процесу).

В сучасних підвісках, щоб уникнути перерахованих вище явищ, поряд з пружним елементом використовують демпфуючий елемент – амортизатор. Він контролює пружність пружини, поглинаючи велику частину енергії коливань. При проїзді нерівності пружина стискається. Коли ж, після стиснення, вона почне розширюватися, прагнучі перевершити свою нормальну довжину, більшу частину енергії зароджується коливання поглине амортизатор. Тривалість коливань до повернення пружини в початкове положення при цьому зменшиться до 0,5-1,5 циклів.

Надійний контакт колеса з дорогою забезпечується не тільки шинами, основними пружними і демпфірувальними елементами підвіски (пружина, амортизатор), але і її додатковими пружними елементами, а також ретельно узгодженням всіх елементів між собою і з кінематикою направляючих елементів.

На сьогоднішній день захист за допомогою підвіски від повільних коливань не дає повної гарантії, що під час пересування авто якийсь елемент підвіски не вийде із ладу. Це загрожує життю пасажирів, тому інженери автопромисловості з кожною новою моделлю авто стараються покращити існуючі варіанти підвіски.

1.4. Наявні методи діагностування ходової частини авто

Безпека водія, пасажирів і всіх учасників дорожнього руху безпосередньо залежить від справності автомобіля. Однією з основних і ключових елементів стабілізації транспортного засобу на дорозі є його підвіска. Несправності в підвісці можуть привести до серйозних наслідків.

Потрібно розуміти, що несправності в підвісці не виникають миттєво, і для того щоб уникнути несподіваних неприємностей і дорогого ремонту, необхідно регулярно проводити діагностику транспортного засобу, і підвіски зокрема. У наш час автомобілі бувають найрізноманітніші і з різними типами підвіски. Тому методи діагностики кожного типу відрізняються.

Складність конструкцій сучасних автомобілів і відповідальність за якість діагностичних досліджень зростають. Досягти потрібного рівня вірогідності і якості діагностичної інформації дають змогу сучасні методи діагностування. Методи діагностування поділяються на організаційні і технологічні.

Організаційні методи визначають характер основних задач діагностування, застосування і вибір ЗД, алгоритми та програми діагностування.

Технологічні методи діагностування – це множина способів і прийомів подачі вхідних, реєстрації вихідних сигналів, вимірювання діагностичних параметрів і виявлення діагностичних ознак технічного стану. За застосуванням ЗД методи діагностування поділяють на два класи:

- органолептичні (суб'єктивні),
- інструментальні (об'єктивні).

Органолептичні методи включають прослуховування, огляд, перевірку дотиком і нюхом. Прослуховуванням виявляють місця і характер ненормальних стукотів, шумів, перебоїв у роботі двигуна, відмов у силовій передачі та ходовій частині (за шумом), нещільності (за шумом повітря, що проривається) і таке інше. Оглядом установлюють місця підтікання води, оливи, палива, колір випускних газів, наявність диму із сипуна, биття

обертових частин, натяг ланцюгових передач тощо. Дотиком визначають місця і ступінь ненормального нагрівання, биття, вібрації деталей, в'язкість, липкість рідини тощо. Нюхом виявляють за характерним запахом несправність зчеплення, витікання бензину, електроліту, підгоряння електропровідників тощо.

Раніше діагностику ходової проводили суб'єктивними методами. Авто завозили в сервіс, піднімали на підйомнику і механік похитував авто при цьому оглядав основні вузли, стукав по деталях. У нового автомобіля, який лише вийшов з конвеєра всі деталі закріплені досить міцно, тому при пересуванні та постійних ударах міцність конструкції зменшується. Механік під час похитування авто визначає чи наявний люфт між елементами скріплення, та маючи деякий досвід може виявити справна деталь чи ні (порівнявши нове авто з тим, що на підйомнику).



Рис. 1.9. Механік автосервісу оглядає підвіску

Цей метод діагностування дуже поширений у країнах пост радянського союзу, оскільки технологічного розвитку автопромисловості як у країнах Європи та США не відбувалося.

Метод має досить суттєві недоліки:

- суб'єктивність при виконанні діагностики;
- людський фактор.

Не завжди звичайні похитування автомобіля можуть виявити несправності. До того ж, потрібно бути дуже хорошим і досвідченим майстром щоб зрозуміти, які елементи зношені і потребують заміни.

Інструментальні методи застосовують для вимірювання і контролю всіх параметрів технічного стану, використовуючи при цьому ЗД. За періодичністю методи діагностування поділяють на такі, що застосовують у плановому регламентованому і в позаплановому, заявковому порядках. Діагностуванням, виконаним згідно з планом, розв'язують задачі перевірки працездатності, а також визначення залишкового ресурсу агрегатів і машини в цілому. З цією метою з усієї сукупності діагностичних параметрів виділяють узагальнені, котрі обов'язково вимірюють під час ТО.

А для позапланових порядку потрібно вдаватися до спеціального пристрою для діагностики вузлів підвіски автомобіля. Такий пристрій називається вібростенд (Рис. 1.10).



Рис. 1.10. Вібростенд в дії

Вібростенд – спеціальна установка, на якій здійснюється перевірка стану підвіски транспортного засобу. Стенд перевірки підвіски розгойдує платформу,

яка оснащена спеціальними датчиками і підключена до комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням. Автомобіль заїжджає колесами на платформу і встановлюється на нейтральну передачу. Далі вібростенд почне розгойдувати автомобіль за рахунок рухомих платформ, таким чином імітуючи, максимально наближену до реальної, ситуацію руху по дорозі. В процесі, датчики встановлені на вібростенді, знімають дані і передаються на комп'ютер, який порівнює результати з оптимальними для випробуваної моделі автомобіля. Тому дуже важливо, щоб майстер перед перевіркою правильно налаштував вібростенд. Діагностика кожної осі автомобіля здійснюється окремо і по черзі. Існує два найбільш розповсюджені методи діагностики підвіски автомобіля на вібростенді: метод вимірювання зчеплення з дорогою і резонансний метод вимірювання амплітуди коливань. Метод вимірювання зчеплення з дорогою заснований на вібраційних коливаннях вимірювальної пластини з певною частотою. Таким чином, спочатку вимірюється вага колеса в стані спокою, а потім динамічна вага колеса. Результати порівнюються і розраховується зчеплення з дорогою в процентах (%). Цей метод має свої недоліки:

- колесо автомобіля повинно знаходитися в центрі платформи;
- тиск в колесах має бути відповідно до вимог виробника автомобіля;
- дію зовнішніх сил, що діють на автомобіль, впливає на результат тесту.

В результаті тестується вся підвіска цілком, а стенд показує коефіцієнт зчеплення з дорогою.

Особливість резонансного методу полягає в тому, що на кожну вісь автомобіля по черзі проводиться збудження коливань вимірювальної пластини з частотою 16 Гц. Частота коливань збільшується до виникнення резонансу підвіски, при якому досягається максимальний хід амортизаторів. Потім примусове збудження коливань припиняється і проводиться аналіз картини загасаючих коливань.

Комп'ютерна система перевірки зчитує дані про відхилення, що фіксуються під час розгойдування вібростенда, і порівнює, отриману

інформацію зі стандартом. Причому стандарт для кожної марки автомобіля свій, тому важливо, щоб оператори обрали правильне налаштування на вібростенді. Одним з мінусів комп'ютерного аналізу вважається недоступність такого для машин, не оснащених електронною системою управління.

Комп'ютерна діагностика – досить складна процедура: після заїзду транспортного засобу на платформу вібростенд починає вібрувати, щоб створити умови, максимально наближені до дорожніх. Вібрації виробляються в діапазоні 0-25 Гц, зі зростанням частоти. Під час цієї процедури відбувається постійне вимірювання динамічного ваги кожного колеса, для порівняння меншого значення до стандарту.

Мінусами системи є:

- необхідність приїжджати в сертифікований сервіс.
- не вірна передача
- не правильний тиск в шинах
- помилки оператора при виборі марки та моделі авто

Висновки до першого розділу

При вивченні проблеми діагностування ходової частини авто було визначено, що наявні методи діагностування не точні, оскільки засновані на суб'єктивному відчутті майстра і можуть мати істотну похибку при неувважності оператора. Також вони діагностують вже наявну проблему. Так само виявлено, що перед безпосереднім діагностуванням конкретної проблеми ходової частини, потрібно проводити додаткову діагностику, для того, щоб знайти саму проблемну ділянку ходової, а потім вже приступити до діагностики безпосередньо цієї ділянки.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Для того щоб діагностику проводити повноцінно система повинна мати, крім датчиків які знімають сигнал, ще й програмне забезпечення яке прийме, обробить і зробить діагностику знятого сигналу.

Перед тим як перейти до створення та діагностики програми, потрібно визначитися на яких аспектах вібродіагностики потрібно зосередитися та розглянути методи вібродіагностування.

У системах віброакустичної діагностики носієм інформації є віброакустичний сигнал, який представляє собою зміну в часі фізичної величини і є результатом механічної взаємодії деталей в кінематичних парах працюючих машин і механізмів. Параметри і характеристики віброакустичного сигналу, що містять інформацію про технічний стан об'єкта, прийнято називати діагностичними ознаками його стану [5, 6].

Віброакустичні сигнали являють собою стохастичні коливання, тому при побудові їх математичних моделей використовуються методи теорії випадкових процесів. В даний час найбільш поширеною моделлю віброакустичних сигналів є стаціонарні випадкові процеси з дискретним спектром, які в загальному випадку можуть бути представлені в комплексній формі в наступному вигляді [7]:

$$\xi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \gamma_k e^{i2\pi f_k t}. \quad (2.1)$$

Де γ_k – незалежні однаково розподілені комплексні випадкові величини, у яких математичні очікування $M[\gamma_k] = 0$, а дисперсії $D[\gamma_k] = \sigma_k^2$;

Основними діагностичними параметрами віброакустичних сигналів є тимчасові характеристики – кореляційна функція $R(\tau)$ та дисперсія $D[\xi(t)]$ процесу (2.1), та його спектральні характеристики [8].

Також в рішенні багатьох прикладних задач [9–11], заснованих на імовірнісному підході, базується на негауссівських моделях досліджуваних випадкових величин і випадкових процесів. При аналізі негауссівських розподілів велике значення мають кумулянтні коефіцієнти

$$\gamma_s = \frac{\kappa_s}{\kappa_2^{s/2}},$$

де κ_s – кумулянти розподілу [11, 12]:

$$\kappa_s = \frac{d^s \ln f(u)}{i^s du^s} \bigg|_{u=0},$$

де $f(u)$ – характеристична функція; $i = \sqrt{-1}$.

З усіх кумулянтних коефіцієнтів найчастіше використовуються коефіцієнт асиметрії γ_3 і ексцесу γ_4 , які є простими і зручними числовими характеристиками, які показують ступінь відмінності досліджуваного розподілу від гауссівського [13].

2.1. Основні теоретичні відомості для дослідження вібраційних явищ

Розглянемо дві основні числові характеристики та їх оцінки, які нам будуть потрібні для побудови програми діагностування, для аналізу вібраційних сигналів:

- математичне сподівання;
- дисперсія.

Математичне сподівання – числова характеристика, яка характеризує середнє випадкової величини, навколо якого групуються всі її значення.

Математичне сподівання визначається в залежності від того якого типу є випадкова величина:

- для дискретної випадкової величини:

$m_{\xi} = \sum_{k=1}^n x_k p_k$, де x_k – значення випадкової величини, p_k – відповідні імовірності.

- для неперервної випадкової величини:

$$m_{\xi} = M\{\xi\} = \int_{-\infty}^{\infty} x dF_{\xi}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x_k p_{\xi}(x) dx, \text{ де } F_{\xi}(x) - \text{функція розподілу,}$$

$p_{\xi}(x)$ – щільність імовірності.

- для змішаної випадкової величини:

$$m_{\xi} = \sum_{k=1}^n x_k p_k + \int_{-\infty}^{\infty} x F'_{\xi c}(x) dx, \text{ де } F'_{\xi c}(x) - \text{неперервна частина функції розподілу випадкової величини.}$$

Розглянемо задачу незміщеного оцінювання математичного сподівання m для випадкової величини з довільним законом $p(x)$, яку далі будемо використовувати для діагностики ходової частини. Для спрощення викладок, будемо припускати, оцінки параметру m випадкової величини формуються з результатів спостережень ξ та N незалежних дослідів.

В якості оцінки \hat{m} параметра m візьмемо середнє арифметичне:

$$\hat{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i,$$

оскільки ця оцінка незміщена, тому що: $M[\hat{m}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M[\xi_i] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m = m$, що

відповідає першій вимоги до якості оцінки [14].

і слушна, тому що її дисперсія при $N \rightarrow \infty$ прямує до нуля:

$$D[\hat{m}] = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N D[\xi_i] = \frac{D}{N}$$

Дисперсія – характеризує розсіювання (розкид) значень випадкової величини відносно математичного сподівання.

У загальному випадку дисперсія визначається $D\{\xi\} = M\left\{\left(\xi - m_\xi\right)^2\right\}$

Дисперсія визначається в залежності від того якого типу є випадкова величина:

- Для дискретної випадкової величини: $D_\xi = \sum_{k=1}^n \left(x_k - m_\xi\right)^2 p_k$.
- Для неперервної випадкової величини: $D_\xi = \int_{-\infty}^{\infty} \left(x - m_\xi\right)^2 p(x) dx$.
- Для змішаної випадкової величини:

$$D_\xi = \sum_{k=1}^n \left(x_k - m_\xi\right)^2 p_k + \int_{-\infty}^{\infty} \left(x - m_\xi\right)^2 F'_{\xi c}(x) dx.$$

На практиці [14] дисперсію будемо визначати знайти за формулою:

$$D_\xi = M\left\{\xi^2\right\} - \left(M\left\{\xi\right\}\right)^2.$$

Продовжуючи тему якості оцінки, розглянемо оцінку дисперсії. Візьмемо в якості такої оцінки величину:

$$D^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\xi_i - \hat{m})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i^2 - \hat{m}^2.$$

Досліджуємо математичне сподівання цієї оцінки, для чого попередньо перетворимо вираз:

$$D^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{i=1}^N \xi_i \right)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i^2 - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \xi_i \xi_j,$$

З урахуванням математичного сподівання незміщеної оцінки:

$$M[D^*] = \frac{N-1}{N^2} \sum_{i=1}^N M[\xi_i^2] - \frac{2}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^N M[\xi_i \xi_j], \text{ впливає}$$

$$M[D^*] = \frac{N-1}{N} D + \frac{N-1}{N} m^2 - \frac{N^2-N}{N^2} m^2 = \frac{N-1}{N} D.$$

Оцінка, таким чином, при кінцевих N зміщена. Але, при $N \rightarrow \infty$ величина зсуву $\frac{1}{N}D$ стає малою і її можна знехтувати.

Крім числових характеристик розглянемо щільність імовірності, яка в подальшому нам знадобиться для спектрального аналізу.

Нехай неперервна випадкова величина ξ з функцією розподілу $F(\xi)$, є безперервною і диференційованою. Обчислимо ймовірність попадання цієї випадкової величини на ділянку від x до $x + \Delta x$:

$$P(x < \xi < x + \Delta x) = F(x + \Delta x) - F(x).$$

Розглянемо відношення цієї ймовірності до довжини ділянки. В межі отримаємо похідну від функції розподілу:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = F'(x).$$

$$p(x) = F'(x).$$

Функція $p(x)$ – похідна функції розподілу – характеризує щільність, з якою розподіляються значення випадкової величини в даній точці. Ця функція називається щільністю розподілу (інакше – «щільність ймовірності») неперервної випадкової величини ξ .

Для неперервних випадкових величин закон розподілу зручно задавати щільністю ймовірностей – першою похідною від функції розподілу:

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F_{\xi}(x + \Delta x) - F_{\xi}(x)}{\Delta x} = \frac{dF_{\xi}(x)}{dx}$$

$p(x)dx = dF_{\xi}(x)$ – елемент імовірності.

У загальному випадку [15, 16], при вирішенні задачі контролю вводяться наступні гіпотези відповідно до станів об'єкта – H_0 : об'єкт справний(норма), H_1 : об'єкт несправний(дефект). Об'єкт у процесі свого функціонування є джерелом шумових діагностичних сигналів: $\xi_0(t)$ – у випадку справного стану або $\xi_1(t)$ – у випадку несправного стану.

Для справного стану об'єктів діагностичні сигнали найчастіше мають нормальний розподіл, а поява несправностей призводить [16] до зміни закону розподілу. Будемо вважати, що $\xi_0(t)$, $\xi_1(t)$ – стаціонарні ергодичні ВП з нульовими математичними сподіваннями та одиничними дисперсіями. Нехай сигнал $\xi_0(t)$ – має нормальний розподіл, а сигнал $\xi_1(t)$ – симетричний розподіл, що відрізняється від нормального.

Розглянемо сутність гістограмного методу вимірювань щільності ймовірностей на прикладі випадкової величини ξ . Припустимо, що в нашому розподіленні результати спостережень безперервної ВВ ξ . Розділимо весь діапазон значень на інтервали або «розряди» і підрахуємо кількість значень m_i , що припадають на кожен i -й розряд. Це число розділимо на загальне число спостережень і таким чином знайдемо частоту, яка відповідає певному розряду:

$$P_i^* = \frac{m_i}{n}. \quad (2.2)$$

Сума частот усіх розрядів, очевидно, має дорівнювати одиниці. Таблиця, в якій наведено розряди в порядку їх розташування уздовж осі абсцис і відповідні частоти називається статистичним рядом.

Статистичний ряд часто оформляють у вигляді графіка, який називають гістограмою (рис. 2.1). При збільшенні числа дослідів можна вибирати всі дрібні розряди; при цьому гістограма буде більше наближатися до деякої кривої, що обмежує площу, рівну одиниці і представляє собою справжню, тобто оцінювану, щільність імовірності величини ξ .

Користуючись даними статистичного ряду, можна наближено побудувати і статистичну функцію розподілу (тобто оцінку інтегрального закону розподілу) величини ξ (рис. 2.2).

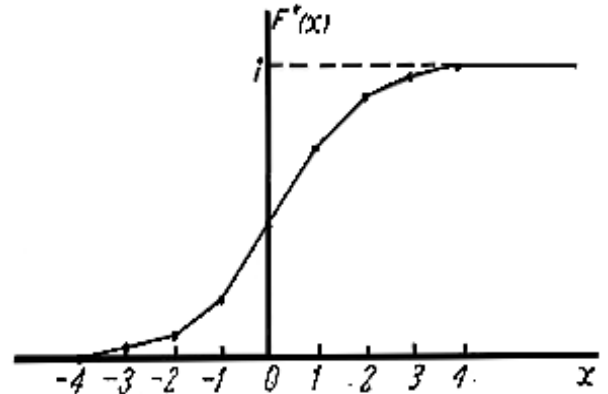
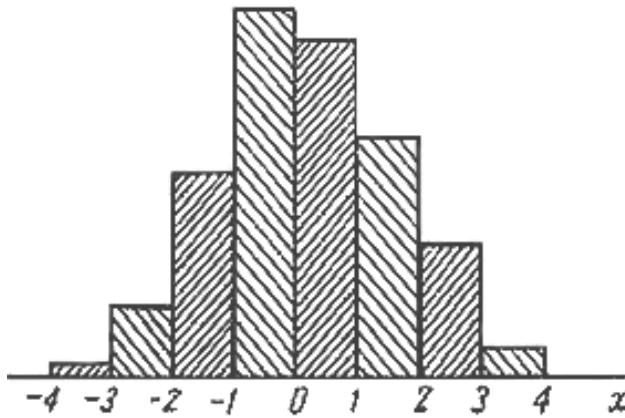


Рис. 2.1. Гістограма статистичного ряду Рис. 2.2. Статистична функція розподілу

Отже задача контролю, що являє собою розпізнавання двох станів об'єкта, можна сформулювати як перевірку статичних гіпотез відносно щільностей імовірності – $H_0: p(x) = p_0(x)$ та $H_1: p(x) = p_1(x)$, де $p(x)$ – щільність імовірності діагностичних сигналів.

Для розрізнення щільностей імовірності треба використовувати імовірнісні метрики. Зокрема в роботі [17] для характеристики відхилення розподіл у зі щільністю імовірності $p_0(x)$ використовувалась інтегральна метрика:

$$\rho = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |p(x) - p_0(x)| dx, \quad (2.3)$$

де, $p_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{x^2}{2}\right)}$ – стандартна нормальні щільність імовірності.

Якщо щільність імовірності сигналу $\xi_1(t)$ невідома, але відомий цього коефіцієнт ексцесу γ_4 , можна використати подання щільностей імовірності у вигляді ряду Грама–Шарльє для симетричних розподілів [18]

$$\tilde{p}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \left[1 + \frac{\gamma_4}{24} H_4(x)\right], \text{ де } H_4(x) = x^4 - 6x^2 + 3 - \text{поліном}$$

Ерміта четвертого порядку. Тоді підставивши $\tilde{p}(x)$ у вираз (2.3), і враховуючи що для процесу $\xi_0(t)$ $\gamma_4 = 0$ отримаємо метрику:

$$r = \frac{\gamma_4}{48\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} |H_4(x)| \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx = \gamma_4 \cdot h, \text{ де } h \approx 0,0583. \quad (2.4)$$

Одним з основних аспектів на якому будуть базуватися вирішальні правила діагностики, це коефіцієнт ексцесу, розглянемо його більш детально.

Коефіцієнт ексцесу – числова характеристика розподілу ймовірностей дійсної випадкової величини. Коефіцієнт ексцесу характеризує «крутість», тобто, стрімкість підвищення кривої розподілу у порівнянні з нормальною кривою [16].

З формули (2.4) випливає, що для щільностей імовірності $p_0(x)$ і $p_1(x)$ доцільно використовувати коефіцієнт ексцесу γ_4 , який цілком визначає значення метрики r , оскільки константа h однакова для всіх розподілів.

В табл. 2.1 наведено стандартні щільності імовірності $p(x)$ типових симетричних розподілів [19] та значення відповідних їм метрик ρ , r і коефіцієнта ексцесу γ_4 .

Таблиця 2.1. Щільності імовірності та значення метрик ρ , r і коефіцієнта ексцесу γ_4

Розподіл	Щільність імовірності		ρ	r	γ_4
Стюдента	$p(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi(v-2)}\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)}\left(1 + \frac{x^2}{v-2}\right)^{\frac{v+1}{2}}$	$v = 64$	0,0055	0,0058	0,1
		$v = 28$	0,0129	0,0146	0,25
		$v = 16$	0,0232	0,0292	0,5
		$v = 10$	0,0386	0,0538	1
Логістичний	$p(x) = \frac{\pi}{4\sqrt{3}ch^2\left(\frac{\pi x}{2\sqrt{3}}\right)}$		0,0543	0,0700	1,2
Чампернауна	$p(x) = \frac{\pi}{2ch\left(\frac{\pi x}{2}\right)}$		0,0885	0,1167	2
Лапласа	$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}e^{\left(-\sqrt{2} x \right)}$		0,1413	0,1750	3

Як видно з табл. 2.1 значення метрик ρ та r мало відрізняються між собою і є близькими до нуля, в той же час значення коефіцієнта ексцесу γ_4 в усіх випадках значно перевищує значення метрик ρ і r . Тому коефіцієнт ексцесу γ_4 є набагато чутливим до відхиленням розподілу від нормального, ніж метрики ρ і r , навіть для розподілу Стюдента з числом степенів свободи $\nu = 64$.

Таким чином коефіцієнта ексцесу доцільно застосувати як діагностичний параметр і задачу розпізнавання двох станів об'єкта контролю можна сформулювати як перевірку статичних гіпотез відносно коефіцієнта ексцесу – $H_0: \gamma_4=0$ об'єкт справний $H_1: \gamma_4 > 0$ об'єкт несправний.

При вирішенні задачі контролю на основі коефіцієнта ексцесу як діагностичного параметра замість теоретичного значення γ_4 використовується його оцінка $\tilde{\gamma}_4$, що отримана за експериментальними даними.

Для того, щоб дослідити оцінку коефіцієнта ексцесу γ_4 необхідно знайти мінімальний об'єм вибірки для оцінки $\tilde{\gamma}_4$, при якому при фіксованій імовірності помилки першого роду (імовірності хибної тривоги) $\alpha = P(H_0|H_1)$ імовірність правильного виявлення дефекту $\delta = 1 - \beta = 1 - P(H_0|H_1) = P(H_1|H_1)$, прямувала б до одиниці [19] (β – імовірність помилки другого роду).

Для оцінювання коефіцієнта ексцесу по вибірці незалежних однаково розподілених випадкових величин ξ_k , $k = \overline{1, N}$, де N – об'єм вибірки, використовується формула [19]:

$$\tilde{\gamma}_4 = \frac{\hat{\mu}_4}{\hat{\mu}_2^2 - 3}$$

де $\hat{\mu}_s = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\xi_k - \hat{m})^s$ – оцінки центральних моментів μ_s , $\hat{m} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_k$ – оцінка

математичного сподівання. Математичне сподівання оцінки коефіцієнта ексцесу $M[\tilde{\gamma}_4] = \gamma_4$, а дисперсія оцінки у випадку симетричних розподілів дорівнює [20]:

$$D[\tilde{\gamma}_4] = \frac{c_4}{N},$$

де $c_4 = M_8 - 4M_4M_6 + 4M_4^3 - M_4^2$, $M_s = \frac{\mu_s}{\mu_2^{s/2}}$ – нормовані центральні моменти.

В табл. 2.2 наведено розраховані теоретичні значення коефіцієнтів ексцесу γ_4 , нормованих центральних моментів M_s та відповідних їм коефіцієнтів c_4 .

Згідно [19] вважаємо, що розподіли оцінок $\tilde{\gamma}_4$ є асимптотично нормальними з математичним сподіванням $M[\tilde{\gamma}_4]$ і дисперсією $D[\tilde{\gamma}_4]$

Таблиця 2.2. Значення коефіцієнтів ексцесу γ_4 , моментів M_s та коефіцієнтів c_4

Розподіл	γ_4	M_4	M_6	M_8	c_4
Нормальний	0	3	15	105	24
Стюдента, $\nu = 64$	0,1	3,1	16,569	128,41	32,508
Стюдента, $\nu = 28$	0,25	3,25	19,205	174,76	51,852
Стюдента, $\nu = 16$	0,5	3,5	24,5	300,13	116,38
Стюдента, $\nu = 10$	1	4	40	1120	720
Логістичний	1,2	4,2	39,857	680,4	289,51
Чампернауна	2	5	61	138,5	640
Лапласа	3	6	90	2520	1188

Поріг Γ_0 є критичним значенням для статистичного критерію γ_4 : якщо $\gamma_4 \leq \Gamma_0$, то приймається гіпотеза H_0 , якщо $\gamma_4 > \Gamma_0$ – приймається гіпотеза H_1

Якщо $\alpha = P(H_0|H_1) = 0,01$, то в точці Γ_0 функція розподілу оцінки $\tilde{\gamma}_4$

дорівнює $F(\Gamma_0) = 0,99 = \Phi\left(\frac{\Gamma_0}{\sqrt{24/N}}\right)$, де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{\left(-\frac{x^2}{2}\right)} dx$ – інтеграл

імовірності. Звідки отримуємо $\frac{\Gamma_0}{\sqrt{24/N}} = 2,32$, і, відповідно $\Gamma_0 = \frac{11,398}{\sqrt{N}}$ [21].

Проаналізувавши програмне [21] забезпечення, яке зараз використовується на ринку, для вібродіагностики виділимо основні моменти на яких потрібно сконцентрувати увагу при подальшому для вібродіагностики ходової частини:

- спектральний аналіз;
- кореляційний аналіз.

2.2. Особливості спектрального аналізу

Коли кажуть про розкладання функції на гармонійні складові, то мають на увазі обчислення коефіцієнтів Фур'є, таке тлумачення прийнято називати спектральним аналізом.

Гармоніку періодичної функції або сигналу з називають основною або першою гармонікою сигналу. Вона задає його частоту повторення f_1 . Решта гармоніки називають вищими, їх частоти дорівнює $f_k = kf_1$, де $k = 1, 2, 3, \dots$. Член $\frac{a_0}{2}$ це постійна складова сигналу її можна трактувати як нульову гармоніку. Таким чином, спектр періодичних сигналів, які подаються поруч Фур'є, дискретний – він містить набір фіксованих частот f_k , де $k = 1, 2, 3, \dots$. Ясно, що такий ряд лише одне з досить простих і можливих розкладів $y(t)$ по ортогональному тригонометричному базису.

На жаль, але обчислення коефіцієнтів Фур'є прямо за інтегральними уявленнями зустрічає великі обчислювальні труднощі. Навіть в системах

комп'ютерної математики [22, 23], де таке обчислення підтримується добре відпрацьованими функціями, воно займає багато часу.

Для подолання великих обчислювальних труднощів, пов'язаних з інтеграцією в ході перетворень Фур'є швидкоплинних залежностей, були запропоновані методи швидкого перетворення Фур'є (ШПФ або, в англomовній транскрипції, FFT – від Fast Fourier Transform). Вони використовують спеціальну техніку комбінації відділків функцій, помножених на заздалегідь обчислені осцилюючі множники, і враховують періодичність значень тригонометричних функцій. ШПФ не зменшують похибки обчислень при заданому числі гармонік, але дозволяють різко зменшити час спектрального аналізу і синтезу – особливо якщо число відділків $y(t)$ кратне 2^N , де N – ціле число.

ШПФ алгоритм виконується за $\sim N \cdot \lg N$ операцій, де N – число відділків сигналу. ШПФ застосовується не тільки в системах комп'ютерної математики для прискорення перетворення Фур'є [22–24], але і в багатьох інших апаратних і програмних засобах.

Для подолання проблеми розривів сигналу на початку і кінці кадру відділків при прямому віконному перетворення Фур'є використовуються вікна з плавним спадом по обидві сторони від центру. Деякі з вікон дані в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Деякі типи вікон та їх властивості

Тип вікна	Вираз для вікна	Властивості вікна
Прямокутне	1	Дуже вузька пелюстка, гарна частотна роздільна здатність, погана амплітудна роздільна здатність, гарне приглушення білого шуму.
Блекмана	$0,42 - 0,5\cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right) +$ $+0,08\sin\left(\frac{4\pi i}{N}\right)$	Широка основна пелюстка, помітний спад бічних пелюсток, гарна амплітудна роздільна здатність і погана частотна.

Продовження таблиці 2.3

Ханна	$0,5 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi i}{N} \right) \right)$	Досить широка вхідна пелюстка, швидкий спад бічних пелюсток, гарне роздільна здатність
Хеммінга	$0,54 - 0,46 \cos \left(\frac{2\pi i}{N} \right)$	Помірно висока основна пелюстка, постійний рівень бічних пелюсток, погане роздільна здатність
Блекмана–Харріса	$0,42323 - 0,49755 \cos \left(\frac{2\pi i}{N} \right) + 0,07922 \cos \left(\frac{4\pi i}{N} \right)$	Унікально низький рівень бічних пелюсток (-92 дБ)
З плоскою вершиною	$0,2810639 - 0,5202972 \cos \left(\frac{2\pi i}{N} \right) + 0,1980399 \cos \left(\frac{4\pi i}{N} \right)$	Гарна роздільна здатність по амплітуді, але погане за частотою, розмиті піки
Експоненціальне	$\frac{\left(\exp(\ln(0,01)i) \right)}{N - 1}$	Знаходить спеціальне застосування

Оскільки тимчасові вікна по суті зазвичай використовуються при цифровій обробці сигналів, то вони характеризуються залежністю коефіцієнта передачі від поточного відліку, причому змінюється від 0 до N . Найпростіше прямокутне вікно по суті означає відсутність спеціально введеного вікна. Його спектр знизу має малий рівень ослаблення бічних пелюсток. Застосування такого вікна означає можливість появи розривів на початку і в кінці вирізаного вікном сигналу. Тому спектр сигналу з таким вікном буде містити великі коливання, викликані ефектом Гіббса, і містити властиві цьому вікну бічні пелюстки. Таке вікно погано усуває і шумові складові сигналу [25].

Рівень ослаблення бічних пелюсток в спектрі прямокутного вікна складає всього – 13 дБ. Для порівняння зазначимо, що у широко застосовуваних вікон Хеммінга і Ханна він становить -43 і -32 дБ. Вікно Блекмана-Харріса (рис. 2.3)

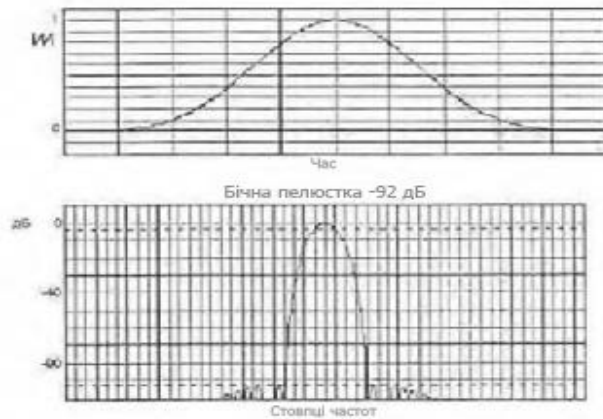


Рис. 2.3. Залежність коефіцієнта передачі та спектр вікна Блекмана-Харріса

Має унікально низький рівень бічних пелюсток – їх ослаблення становить -92 дБ. Техніку застосування тимчасових вікон наочно ілюструє рис. 2.4. У Верхній частині малюнка показано множення відділків сигналу на вагові коефіцієнти тимчасового вікна, а внизу – застосування ШПФ для отримання спектра.

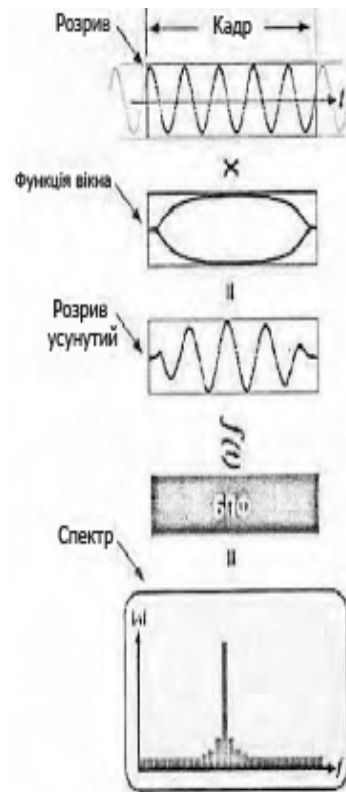


Рис. 2.4. Ілюстрація застосування тимчасового вікна для усунення впливу розривів на спектр кадру сигналу

Вибором спеціального частотного вікна можна помітно послабити вплив «шкідливого» ефекту Гіббса в разі застосування рядів Фур'є з кінцевим числом членів (гармонік). Для цього в підінтегральний вираз вводиться множник $W(\omega)$, що задає вікно із заданою формою амплітудно-частотної характеристики. Тим самим реалізує зворотне віконне перетворення Фур'є. При вдалому підборі вікон можна значно підвищити частотне дозвіл спектрів, придушити ефект Гіббса і поліпшити вигляд спектрів [25].

Якщо при обчисленнях спектру використовується вагова функція (вікно) w_n , $n = 0, \dots, N-1$, одержана оцінка спектру називається модифікованою періодограмою (modified periodogram):

$$\tilde{S}_m = \frac{1}{F_\partial NU} \left| \sum_{n=0}^{N-1} X_n w_n \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} nm\right) \right|^2,$$

$$U = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} w_n^2$$

Також можна сказати, що спектральний аналіз випадкового процесу допомагає вирішити задачу виявлення періодичного сигналу на тлі шуму.

Оскільки складові частини процесу $Y(t)$ статистично незалежні, враховуючи співвідношення Вінера–Хінчіна

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau,$$

одержуємо

$$S_Y(f) = S_S(f) + S_{\xi}(f), \quad (2.5)$$

де

$$S_s(f) = \frac{A^2}{4} [\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)], \quad S_{\xi}(f) = \frac{N_0}{2} \operatorname{rect}\left(\frac{f}{2B}\right) = \frac{D_{\xi}}{2B} \operatorname{rect}\left(\frac{f}{2B}\right),$$

B – верхня гранична частота шуму $\xi(t)$.

Графік спектру суміші (2.5) побудувати неможливо, оскільки спектр необмеженого в часі гармонічного сигналу складається з двох дельта-функцій, що приймають безкінечно великі значення при $f = \pm f_0$.

На практиці завжди маємо відрізок, довжиною T , реалізації випадкового процесу. Тому замість спектру потужності на практиці оперуємо із оцінкою спектру:

$$\bar{S}(f) = \int_{-T}^T \bar{R}(\tau) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau = \frac{|F_T(f)|^2}{T},$$

$$F_T(f) = \int_0^T X(t) \exp(-j2\pi ft) dt.$$

Можна показати, що математичне сподівання відповідної оцінки відрізка гармонічного процесу має вигляд:

$$M\{\bar{S}_S(f)\} = \frac{A^2 T}{4} \left\{ Sa^2[\pi(f - f_0)T] + Sa^2[\pi(f + f_0)T] \right\} \quad (2.6)$$

Тепер маємо ситуацію, максимально наближену до реальності, що дозволяє обчислити відношення сигнал–шум на виході спектр аналізатору. Якщо за

сигнал на виході спектр аналізатору прийняти висоту піку математичного чекання (2.6), а за шум – математичне сподівання рівня спектру шуму (насправді за рівень шуму приймають не рівень спектру шуму, а середньоквадратичну похибку оцінки спектра шуму – але можна показати, що для оцінки у вигляді періодограми ці два різні визначення відношення сигнал–шум співпадають), маємо:

$$\rho_{\text{вих.сп}} = \rho_{\text{вх}} \cdot TB,$$

тобто виграш у відношенні сигнал–шум за рахунок спектрального аналізу сягає величини

$$\frac{\rho_{\text{вих.сп}}}{\rho_{\text{вх}}} = TB.$$

Звідси

$$10 \lg TB = \rho_{\text{вих.сп}} \lg - \rho_{\text{вх}} \lg,$$

Використання параметричних методів означає наявність математичної моделі випадкового процесу, що аналізується, а саме: СВП представляють як результат проходження білого шуму через фільтр (Рис. 2.5).

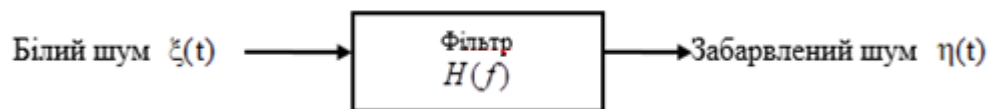


Рис. 2.5. Структурна схема для аналізу ВП параметричними методами

Оскільки спектри СВП вхідного й вихідного процесів лінійної системи пов'язані співвідношенням:

$$S_{\eta}(f) = |H(f)|^2 S_{\xi}(f),$$

для випадку білого шуму на вході, тобто $S_{\xi}(f) = \sigma^2$, маємо

$$S_{\eta}(f) = |H(f)|^2 \sigma^2.$$

Таким чином, задачу вимірювання спектру потужності процесу $\eta(t)$ можна підмінити задачею вимірювання АЧХ деякого фільтру й потужності σ^2 білого шуму $\xi(t)$ на його вході. Оскільки цифрові фільтри прийнято ділити на

три типи – нерекурсивні, рекурсивні й авторегресивні, – одержуємо три моделі процесу $Y(t)$ [14]:

- 1) КС;
- 2) АРКС;
- 3) АР.

Спектральний аналіз зводиться в даному випадку до рішення оптимізаційної задачі, тобто до пошуку таких параметрів моделі, при яких вона найбільш близька до реального сигналу.

З позицій практики головним недоліком методів Фур'є-аналізу і синтезу функцій і сигналів є великий час обчислень і непридатність до аналізу нестационарних сигналів, наприклад з випадково, які з'являються новими компонентами сигналу.

Великий час обчислень пов'язано з тим, що в формулах для коефіцієнтів Фур'є присутні швидко осцилюючі множники, що вимагає розбивки інтервалів інтегрування на дуже малі частини. У підсумку обсяг обчислювальних операцій різко зростає. Рис. 2.6 дає класифікацію можливості варіантів представлення спектрів [25]. Звичайне часове представлення сигналу задає відділки сигналу в площині амплітуда – час. Спектр в частотній області задає амплітуду гармонік (або спектральну площу) в площині амплітуда – частота.

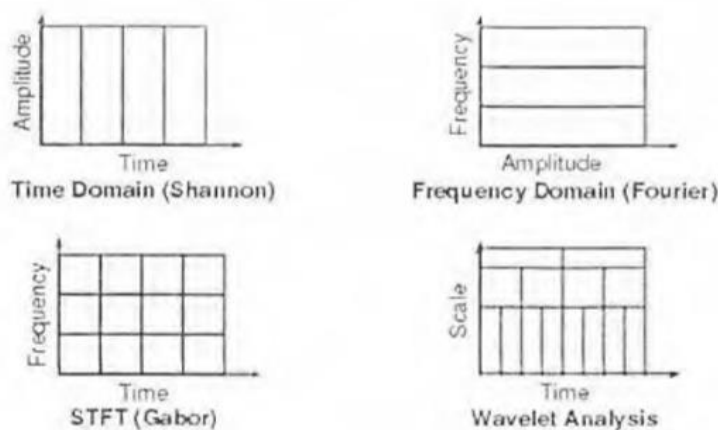


Рис. 2.6. Основні типи представлення спектрів

Головний недолік цього подання – відсутність даних про тимчасові ті чи інші процеси. Віконне перетворення (Габора) для блоку відділків будується в

площині частота – час і розбиває її на прямокутні осередки, кожна з яких характеризується амплітудою, зазвичай представляється кольором.

Спектрограмою сигналу називається його миттєвий спектр, що залежить

від часу:
$$F(\omega, t) = \int_{t-T}^t X(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Для обчислення спектрограми дискретного сигналу його розбивають на сегменти (можливо, з перекриттям). Для кожного сегмента обчислюють його спектр у вигляді коефіцієнтів ДПФ. Набір спектрів і утворює спектрограму (рис. 2.7).

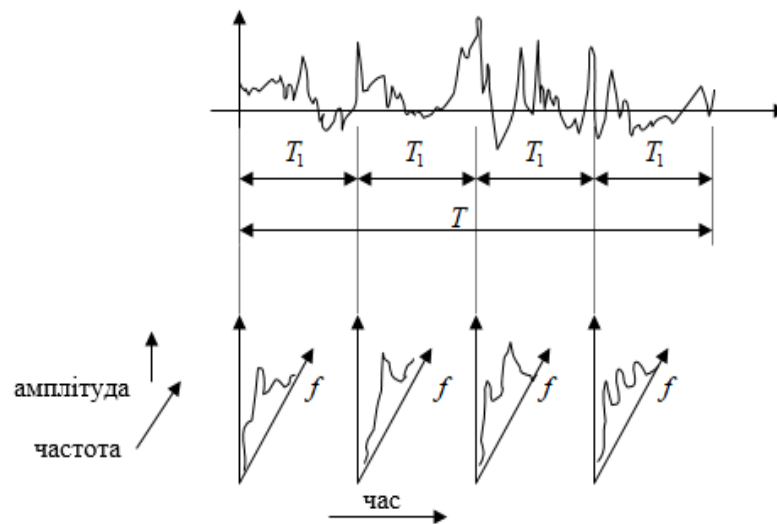


Рис. 2.7. Спектрограма, яку утворює набір спектрів

Роздільна здатність по частоті такого спектрального аналізу визначається величиною $\Delta f = \frac{1}{T_1}$, а роздільна здатність за часом – величиною T_1 , якщо сегменти аналізованого процесу не перекриваються. Якщо ж сегменти перекриваються, то дозвіл за часом може бути рівним навіть $\Delta t = \frac{T_1}{N_1}$, де N_1 – число відділків сегмента, що піддається перетворенню Фур'є (число N_1 часто називають тому параметром ШПФ і приймають рівним ступеня 2). Однак на практиці ступінь перекриття вибирають з якихось "розумних" передумов, оскільки при надто високому ступені перекриття обсяг обчислень може стати неприйнятно високим.

Один і той же термін "спектрограма" застосовують як до комплексної функції частоти і часу, так і до її модулю (набору амплітудних спектрів).

2.3. Особливості кореляційного аналізу

Кореляційна функція позначається як $R(t_1, t_2)$ та являє собою двовимірну центральну функцію другого порядку.

$$R(t_1, t_2) = \mu_{11}(t_1, t_2) = M \left\{ \overset{\circ}{\xi}(t_1) \overset{\circ}{\xi}(t_2) \right\}$$

Кореляційна функція – характеризує ступінь лінійності зв'язку між миттєвими значеннями ВП.

$$R(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2 p(x_1, x_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2,$$

Інтервалом кореляції τ називають інтервал часу в межах якого всі миттєві значення ВП являються корельованими.

Інтервал часу за межами якого миті значення є некорельованими. Припустимо, що ВСП $\xi(t)$ і $\eta(t)$ центровані, тобто $m_{\xi} = m_{\eta} = m = 0$. Функції автокореляції і взаємної кореляції при цьому визначаються співвідношеннями

$$R(\tau) = M \{ \xi(t) \xi(t + \tau) \} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \xi_1 \xi_2 p(\xi_1, \xi_2, \tau) d\xi_1 d\xi_2,$$

$$R_{XY}(\tau) = M \{ \xi(t) \eta(t + \tau) \} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \xi_1 \eta_2 p(\xi_1, \eta_2, \tau) d\xi_1 d\eta_2,$$

де $P(\xi_1, \xi_2, \tau)$ та $P(\xi_1, \eta_2, \tau)$ – двовимірні щільності ймовірності 2-го порядку.

Для ергодичних випадкових процесів $\xi(t)$ і $\eta(t)$ по відношенню до кореляційної функції, функцію кореляції можна визначити так:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) \xi(t + \tau) dt, \quad R_{\xi\eta}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) \eta(t + \tau) dt.$$

Відповідні оцінки кореляційних функцій мають вигляд:

$$\bar{R}^*(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) \xi(t+\tau) dt, \quad \bar{R}_{\xi\eta}^*(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) \eta(t+\tau) dt.$$

Розглянемо дискретну форму оцінки функції кореляції. При обробці інформації чисельними методами з застосуванням ПК природно використовувати дискретну форму оцінок функції кореляції:

$$R^*[r] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi[i] \xi[i+r], \quad R_{\xi\eta}^*[r] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi[i] \eta[i+r].$$

Тут використані позначення:

$$\xi[i] = \xi_i = \xi(t_i) = \xi(i \cdot \Delta t), \quad R^*[r] = R_r^* = \bar{R}^*(\tau_r) = \bar{R}^*(r \cdot \Delta t),$$

які підкреслюють існування зв'язку між дискретної і безперервної формами оцінок функції кореляції. Крім того, можлива інша різновидність дискретної форми оцінок функції кореляції:

$$\check{R}^*[r] = \frac{1}{N-r} \sum_{i=1}^{N-r} \xi[i] \xi[i+r], \quad \check{R}_{\xi\eta}^*[r] = \frac{1}{N-r} \sum_{i=1}^{N-r} \xi[i] \eta[i+r].$$

На практиці можна лише оцінити функцію кореляції. На рис. 2.8 показана структурна схема корелометра.

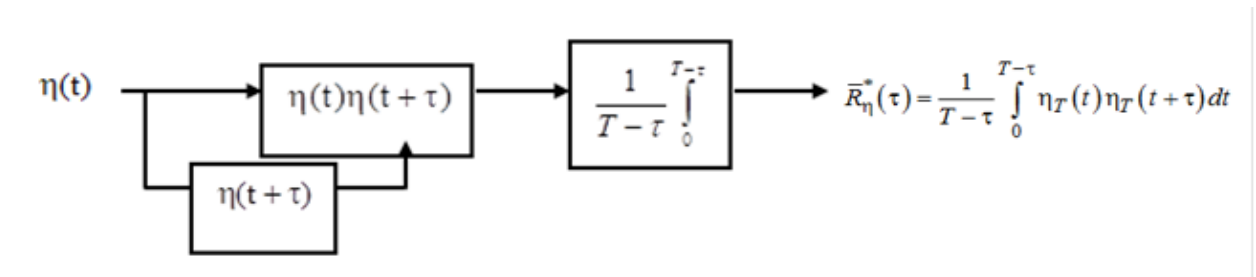


Рис. 2.8. Структурна схема корелометра

Для відрізка $\eta_T(t)$ процесу $\eta(t)$ незміщена оцінка функції кореляції має вигляд:

$$\bar{R}_Y^*(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} \eta_T(t) \eta_T(t+\tau) dt$$

Для адитивної суміші сигналу і шуму $\eta(t) = S(t) + \xi(t)$ маємо:

$$\bar{R}_\eta^*(\tau) = \bar{R}_S^*(\tau) + \bar{R} \sin^{-1} \theta_\xi^*(\tau) + \bar{R}_{S\xi}^*(\tau) + \bar{R}_{\xi S}^*(\tau).$$

З представлених викладок в [14] отримаємо відношення сигнал–шум на виході корелометра:

$$\rho_{вих} = \frac{\frac{A^4}{8}}{D[\bar{K}_\xi^*(\tau)]} = \frac{A^4 \left(\frac{T}{2\tau_{к.кв}} \right)}{8D_\xi^2} = \rho_{вх}^2 \frac{\left(\frac{T}{2\tau_{к.кв}} \right)}{2} = \rho_{вх}^2 TB.$$

Позначаючи $\frac{T}{2\tau_{к.кв}} = N$, отримуємо:

$$\rho_{вих} = \rho_{вх}^2 \frac{N}{2}$$

або, якщо відношення сигнал–шум вимірюється в децибелах

$$\rho_{вих\text{дб}} = 10\lg\left(\rho_{вх}^2 \frac{N}{2}\right) = 2\rho_{вх\text{дб}} + 10\lg N - 10\lg 2.$$

На рис. 2.9 наведено графіки оцінки кореляційної функції (тобто графіки сигналу на виході корелометра).

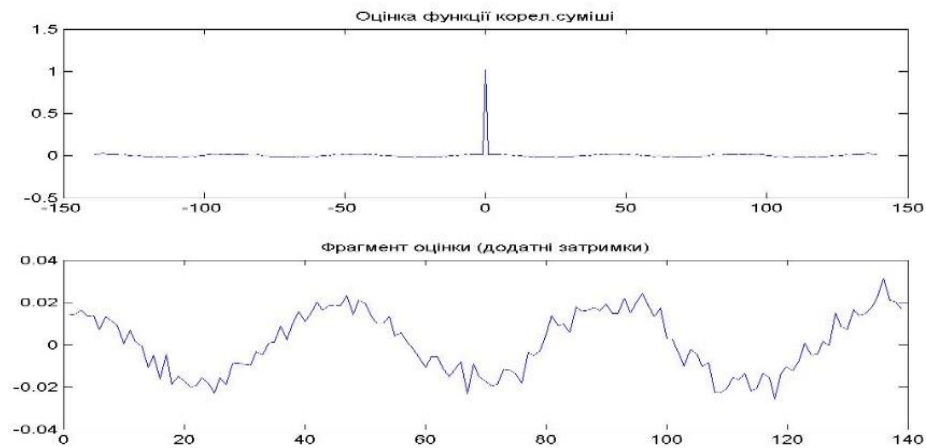


Рис. 2.9. Графіки оцінки кореляційної функції

2.4. Оцінювання рівнів вібрації по амплітуді коливань

Стандарт ГОСТ Р ИСО 10816–1–97 є основоположним стандартом в області вібраційного моніторингу стану та діагностики.

Стандарт охоплює чотири класи машин (рис. 2.10).

Клас 1. Машина, потужністю до 15 кВт (в основному електродвигуни, насоси, вентилятори);

Клас 2. Машини потужністю від 15 кВт до 75 кВт (електродвигуни, насоси, вентилятори) без спеціальних фундаментів, жорстко встановлених, або машини, потужністю до 300 кВт на спеціальних фундаментах;

Клас 3. Потужні первинні двигуни та інші машини з обертовими частинами, встановлені на масивних фундаментах, щодо жорстких в напрямку вимірювання вібрації.

Клас 4. Потужні первинні двигуни та інші потужні машини з обертовими масами, щодо податливі в напрямку вимірювання вібрації (наприклад, турбогенератори і газові турбіни з вихідною потужністю понад 10000 кВт).



Рис. 2.10. Стандартні класи машин

Вимірювання проводяться на нерухомих частинах машин ГОСТ Р ИСО 10816-1-97 базується на широко застосовується стандарті ISO 2372, який встановлював загальний рівень вібрації для згаданих вище машин в діапазоні частот 10...1000 Гц. Що стосується підшипників, то вимірювання слід проводити на самих підшипниках, корпусах підшипників або інших елементах конструкції, які в максимальній мірі реагують на динамічні сили і характеризують загальне вібраційне стан машини.

Стандарт ДСТУ ISO 10816-97 регламентує приблизні межі обчислення за формулами 2.12–2.14. Норми використовують, якщо домінуюча частот вібрації лежить в діапазоні (часто це зворотний частота). Діапазон для груп машин

визначають, виходячи з їх конструкції і встановлюють на основі статичних даних.

Критерії оцінки вібраційного стану машин пов'язані з визначення меж для абсолютного значення параметра вібрації, відповідних допустимим динамічним навантаженням на підшипники і допустимої вібрації, яка передається назовні через опори і фундамент. Максимальне значення, отримане в результаті вимірювання на кожному підшипнику або опорі порівнюють з межами чотирьох зон, встановлених з міжнародного досвіду проведення досліджень і експлуатації. Дані зони призначені для якісної оцінки вібраційного стану машин і прийняття рішення про необхідні заходи. Зразкові значення меж зон наведено в таблицю 2.4

Таблиця 2.4. Зразкові значення меж зон

$V_{r.m.s}$, мм/с	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4
0,28	А	А	А	А
0,45				
0,71				
1,12	В	В	В	В
1,8				
2,8	С	С	С	С
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Зона А – В цю зону потрапляють, як правило, нові машини, тільки що введені в експлуатацію.

Зона В – Машини, які потрапляють в цю зону, зазвичай вважаються придатними для подальшої експлуатації без обмеження термінів.

Зона С – Машини, які потрапляють в цю зону, зазвичай розглядають як непридатні для тривалої безперервної експлуатації. Зазвичай дані машини можуть функціонувати обмежених період часу, поки не з'явиться відповідна можливість для проведення ремонтних робіт.

Зона D – Рівні вібрації в даній зоні зазвичай розглядають як досить серйозні, для того що б викликати пошкодження машини.

Для загальної оцінки зони вібрації вже багато років і по теперішній час вібраційний стан машин широкого класу успішно оцінюють шляхом вимірювання середнього квадратичного значення віброшвидкості. Визначивши шляхом вимірювань залежність віброшвидкості від часу, її середньоквадратичне значення можна підрахувати таким чином:

$$v_{r.m.s} = \sqrt{T^{-1} \int_0^T v^2(t) dt}, \quad (2.12)$$

$v(t)$ – функція віброшвидкості від часу;

T – період який повинен бути багато більше періоду будь-якого з основних частотних компонентів.

Значення вібраційного прискорення, швидкості або переміщення (відповідно $a_j, v_j, S_j, j = 1, 2, \dots, n$) визначають в результаті аналізу вібраційних спектрів як функції кутової частоти ($\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$). Якщо відомі середні квадратичні значення амплітуд віброшвидкості, або середні квадратичні значення амплітуд прискорення, то пов'язане з ними і характеризує коливальний процес середньоквадратичне значення віброшвидкості визначається виразом:

$$\begin{aligned} v_{r.m.s} &= \sqrt{\left(\frac{a_1}{\omega_1}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{\omega_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{a_n}{\omega_n}\right)^2} = \\ &= \sqrt{S_1^2 \omega_1^2 + S_2^2 \omega_2^2 + \dots + S_n^2 \omega_n^2} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2} \end{aligned} \quad (2.13)$$

При наявності тільки двох зон значних складових вібрації, що визначають биття середнього квадратичного значення віброшвидкості між максимальних і мінімальних значень, середньоквадратичне значення вібрації приблизно виражається у вигляді:

$$v_{r.m.s} = \sqrt{\frac{(v_{max}^2 + v_{min}^2)}{2}}. \quad (2.14)$$

Що ж стосується конкретно підшипників кочення, то аналіз оцінки буде заснований на коефіцієнті ексцесу. Оскільки коефіцієнт ексцесу діагностує сигнал має велику чутливість в порівнянні з інтегральної метрикою щільності ймовірності для розпізнання справного і несправного стану електротехнічного обладнання, особливо підшипників кочення електричних машин.

У таблиці 2.5 наведені значення оцінок коефіцієнта ексцесу вібрацій підшипника встановленого з боку колектора в машині і відчують при різних станах [16].

Таблиця 2.5. Значення оцінок коефіцієнта ексцесу вібрацій підшипника

Умови випробування підшипника	Точкова оцінка середнього значення коефіцієнта
	γ_4
Справний	$0,1730 \pm 0,0577$
Відсутня змазка	$0,6587 \pm 0,1196$
Перекіс	$1,0711 \pm 0,1196$
Дефект внутрішнього кільця	$1,2227 \pm 0,1076$

Якщо розглядати ходову частину автомобіля, то для кожної частини ходової та для кожної марки та моделі автомобіля ці параметри будуть свої.

Висновки до другого розділу

В рамках другого розділу було розглянуто наявні методи обробки віброакустичних сигналів. В подальшому при діагностуванні ходової частини авто будемо використовувати: метод спектрального аналізу, метод кореляційного аналізу та метод кумулянтного аналізу. На основі цих аспектів можна буде в подальшому зробити висновок стосовно оцінки порогових значень для вібрації, тобто на скільки справно працює досліджуваний об'єкт.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТО

Сучасні автомобілі вважаються досить безпечними для життя людини. Інженерам вдалось розробити кузова авто, які при зіткненні можуть зберегти життя як пасажирам так і пішоходам. Великий відсоток аварій на дорозі пов'язаний з тим, що авто стає не керованим. Розповсюдженою проблемою некерованості авто є ходова частина, адже до її складу входять основні вузли підвіски, які утримують авто у рівновазі, пом'якшують пересування.

Оскільки ця частина авто має безпосередній вплив на життя пасажирів і піддається максимальним навантаженням, тому було прийнято рішення розробити систему, яка дасть змогу своєчасно виявляти дефекти та зберігати життя людей. Як було сказано вище, на сьогоднішній час, підвіску можна діагностувати або суб'єктивним методом (оглядом вузлів та покачуванням авто), або за допомогою вібростендів. Але ці методи на початкових етапах безсильні, оскільки деякі деталі можуть руйнуватися і водій їх може не відчувати.

Метод полягає у тому, щоб проводити об'єктивну оцінку досліджуваного об'єкта в режимі реального часу. Досліджуваним об'єктом будемо називати основні вузли ходової частини авто. На рис. 3.1 показана структурна схема діагностичного комплексу ходової частини авто. На основні вузли кріпляться віброперетворювачі. З перетворювачів сигнал поступає на блок пристрою реєстрації, де оцифровується. Далі сигнал передається в блок комплексу обробки сигналу, де проходить цифрову обробку і виводиться оцінка про стан об'єкта.

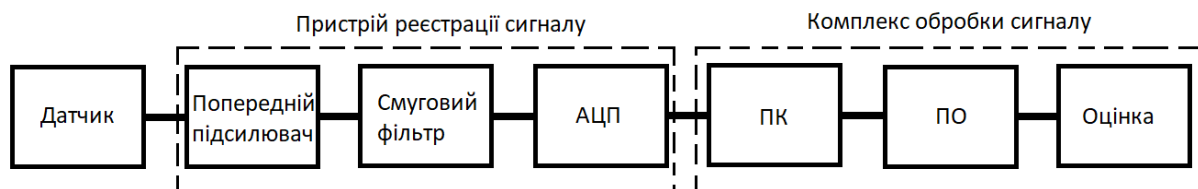


Рис. 3.1. Структурна схема системи діагностики ходової частини авто

3.1. Розробка структурної схеми діагностування

В роботі [26] сказано, що для вібраційного діагностування ходових частин автомобіля необхідно забезпечити наявність вібродатчиків на окремих вузлах діагностуючої моделі.

Пристрій призначений для своєчасного сповіщення водія при порушенні роботи ходових мостів, а також для діагностування в сервісному центрі за допомогою діагностуючих сканерів.

Основні технічні характеристики наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Основні технічні характеристики

Частотний діапазон, Гц	50–1300
Віброшвидкість, мм/с	1–6

Метод локації: пасивний.

Інформаційний сигнал: рівень вібрації, адже саме від порівняння рівнів вібрації робиться вивід оцінки.

Первинні параметри сигналу: амплітуда коливань, частота.

Вторинні параметри: спектр, кореляційна функція, числові характеристики.

На діагностуючу деталь ходового мосту за допомогою шпильки кріпиться вібродатчик, який у свою чергу з'єднаний з подальшим пристроєм кабелем. Сигнал поступає на попередній підсилювач де підсилюється до певного рівня та узгоджується з подальшою частиною пристрою. Після підсилення сигнал поступає на смуговий фільтр у якому придушуються зайві частоти і виділяється корисний сигнал. Далі сигнал надходить на АЦП, де оцифровується.

У зв'язку з необхідністю з'єднання багатoeлементних матриць п'єзопретворювачів багатожильними кабелями останнім часом спостерігається тенденція розробки попередніх підсилювачів, що розміщуються безпосередньо в конструкції приймача вібраційного сигналу.

У цьому випадку забезпечується краще узгодження електроакустичного перетворювача з приймально-підсилювальним трактом і зменшення енергетичних втрат в сполучному кабелі для акселерометрів краще всього зарекомендували себе підсилювачі заряду [27].

На систему можуть впливати акустичні шуми. Для боротьби з ними необхідно і достатньо забезпечити низький коефіцієнт сигнал-шум. Цього можна добитись завдяки використанні датчиків з чутливістю, яка буде оптимальною для даної діагностуючої деталі, тобто кожна деталь має свою значення прискорення і при відхиленні від цього значення виводиться оцінка.

Основними завадами є високий рівень шуму, для уникнення їхнього впливу потрібно обрати оптимальний діапазон роботи пристрою, проводити екранування від електричних завад. Фільтрація прийнятого сигналу також зменшить рівень шуму.

Для більш точної оцінки, тобто для визначення типу поломки достатньо ввести спектральну обробку сигналу, а саме спектральну обробку за методом Уелча [28], оскільки він точніший та використовується у більшості іноземних пристроях діагностування вібраційним методом.

Приймачем інформаційного сигналу є датчик, яке в собі несе основну інформацію (амплітуду, частоту). Подальша обробка сигналу і виділення з нього інформації відбувається після перетворення його в цифрову форму за допомогою АЦП та виводу оцінки за допомогою програмного забезпечення.

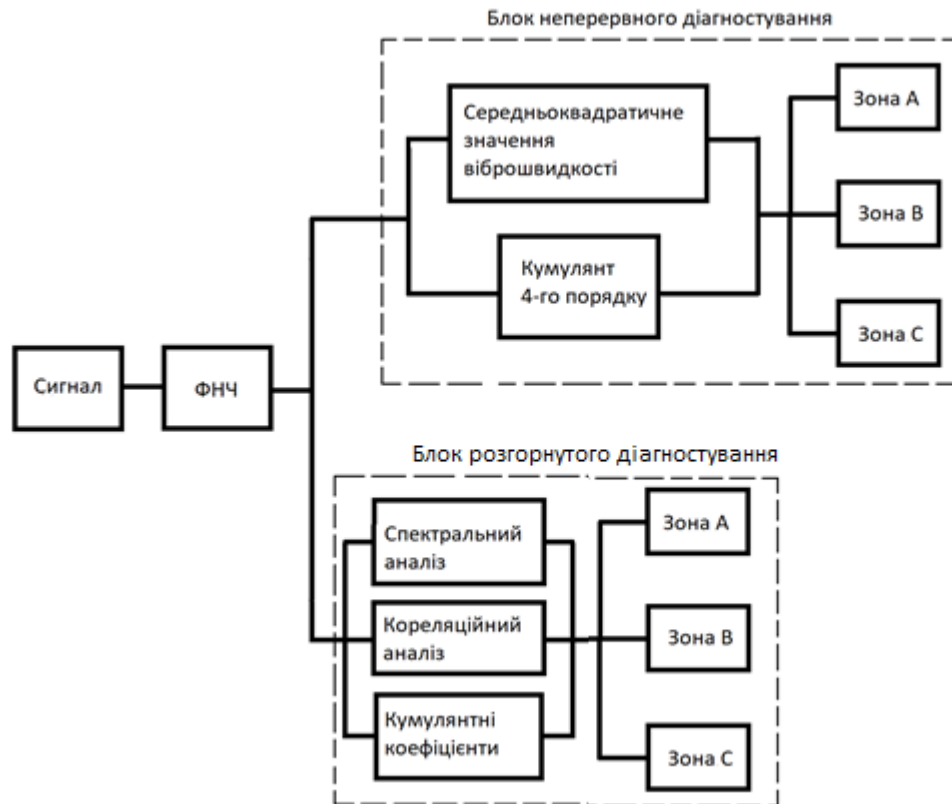


Рис. 3.2. Структурна схема обробки сигналу

Сигнал в режимі реального часу завантажується в програму, подається на ФНЧ фільтр, де відсікається ВЧ складова АЦП. В залежності від того де проводиться діагностика вибирається один із запропонованих блоків діагностики (рис. 3.2). Блок неперервного діагностування призначений для власника авто, який безпосередньо виводить оцінку на бортовий комп'ютер. Блок розгорнутого діагностування призначений для інженера-механіка, який виводить детальну інформацію та оцінку стосовно стану досліджуваного об'єкту на ПК.

3.2. Визначення проблемних частин ходової

Важливим етапом розробки системи є визначення місця розташування та кількості датчиків, адже від цього залежить кінцева вартість продукту, а також складність виготовлення деталей та системи. На превеликий жаль літературні джерела не дали інформації, щодо кількості основних вузлів ходової частини, які піддаються максимальним навантаженням і частіше виходять зі строю.

В ході дослідження було вирішено створити експертне опитування серед користувачів автомобілів та сервісних центрів, що займаються обслуговуванням авто. Як відомо з вище зазначеної інформації більшість авто мають схожу підвіску, а отже можна обрати певні моделі авто і по ним зробити опитування.

Для опитування були обрані наступні моделі автомобілів:

- Opel Vectra C (2006 – 2010);
- Volkswagen Golf V (2007 – 2011);
- BMW M3 E35 (2006 – 2011);
- Fiat 500 Abarth (2007 – 2009);
- Mitsubishi Lancer EVO VII (2004 – 2008);
- Daewoo Lanos (2004 – 2010);
- Dacia Logan (2006 – 2011);
- Mercedes A-Klasse A180 (2003 – 2008);
- Audi A4 (2006 – 2012).

Вище зазначені авто мають схожу за своїми технічними даними та конструктивними елементами підвіску (передня незалежна, задня залежна), а отже бланки для опитування можна об'єднати. Бланк опитування знаходиться в додатку А. Після обробки отриманих результатів було виявлено, що на передній вісі вище зазначених авто частіше всього виходять зі строю наступні деталі:

1. Підшипник ступиці;
2. Стійка стабілізатора поперечної стійкості;
3. Амортизатор;

З більш детальною інформацією про результати опитування можна ознайомитись на діаграмах які наведені нижче або знаходяться у Додатку А.

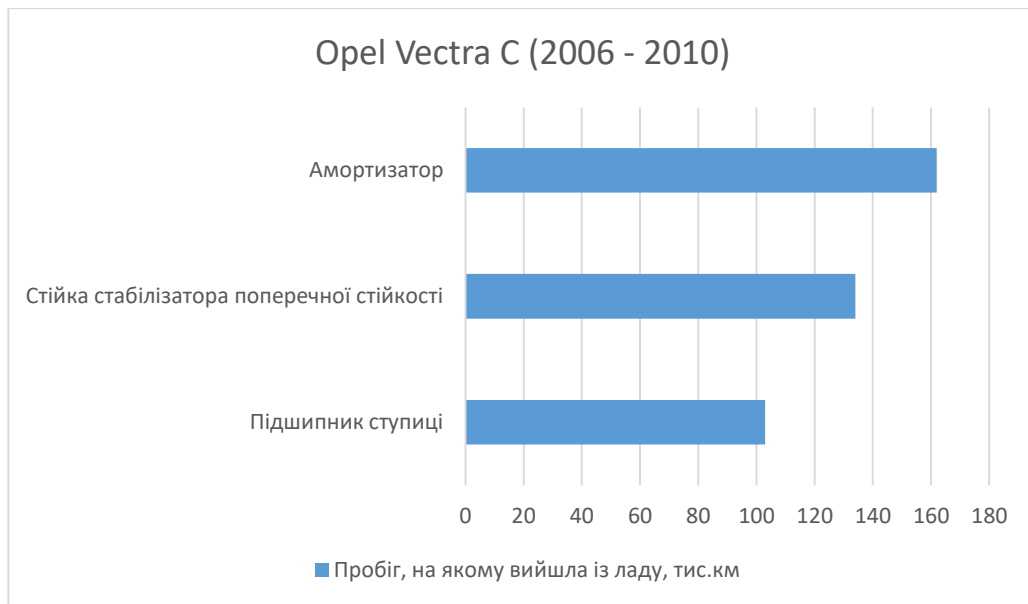


Рис. 3.3 Середнє значення залежності де-фект/пробіг

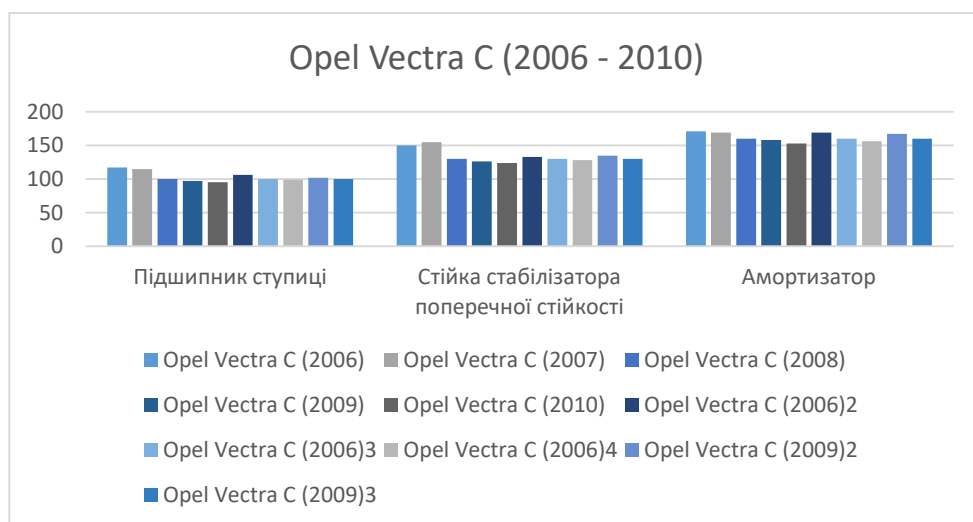


Рис. 3.4 Значення залежності дефект/пробіг по кожній машині

Оскільки комплекс вібродіагностики ходової частини працює в режимі реального часу, то для того щоб знати з якого діапазону пробігу потрібно проводити частіше та більш детально, проведемо порівняльну характеристику кожної частини ходової, між машинами які приймали участь в соціальному опитуванні рис. 3.5. – 3.7.

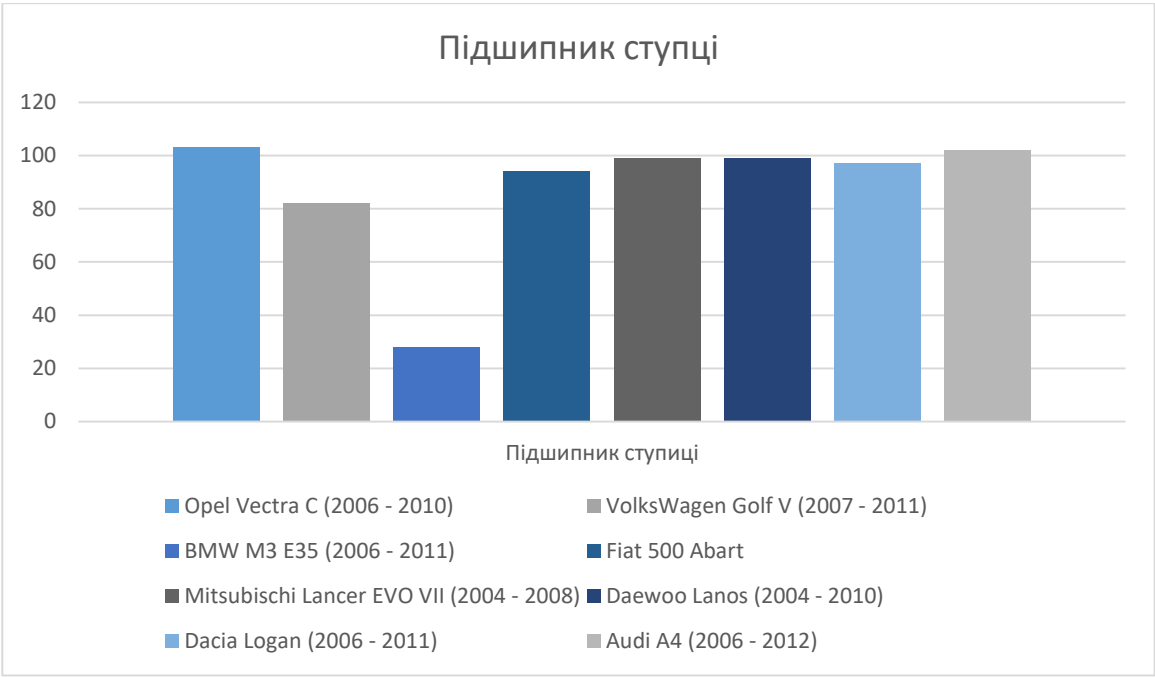


Рис. 3.5. Порівняння підшипників ступиці в залеженості від марки досліджуваної машини та пройденого пробігу

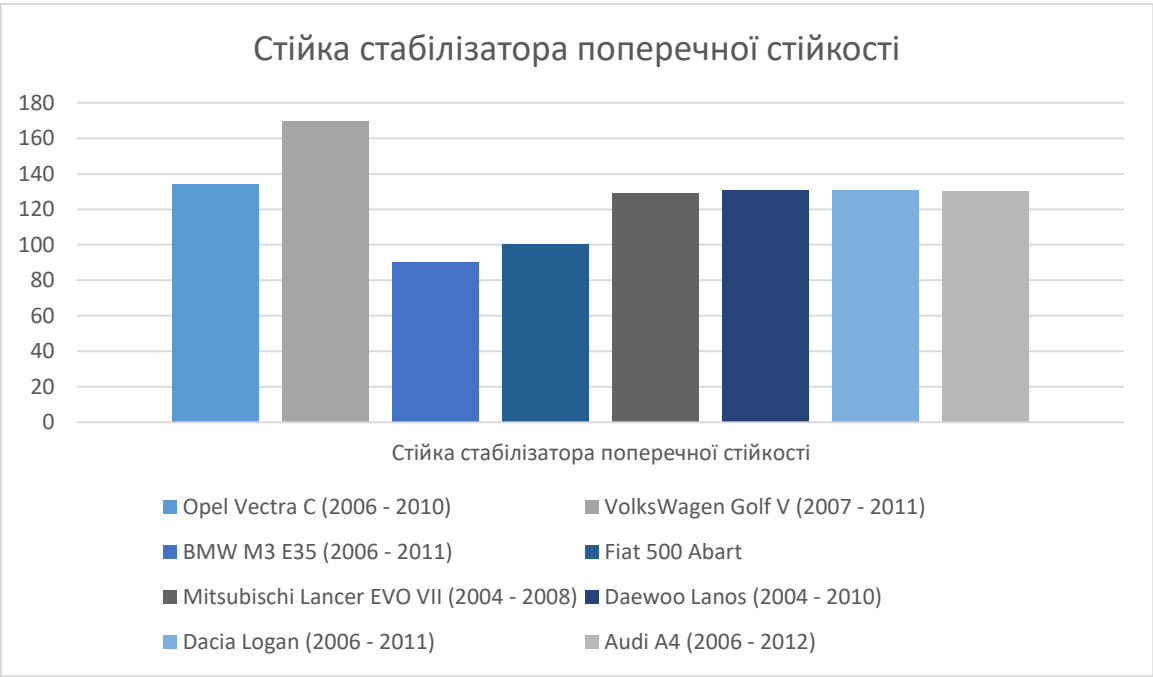


Рис. 3.6. Порівняння стійки стабілізатора поперечної стійкостів залежно-сті від марки досліджуваної машини та пройденого пробігу

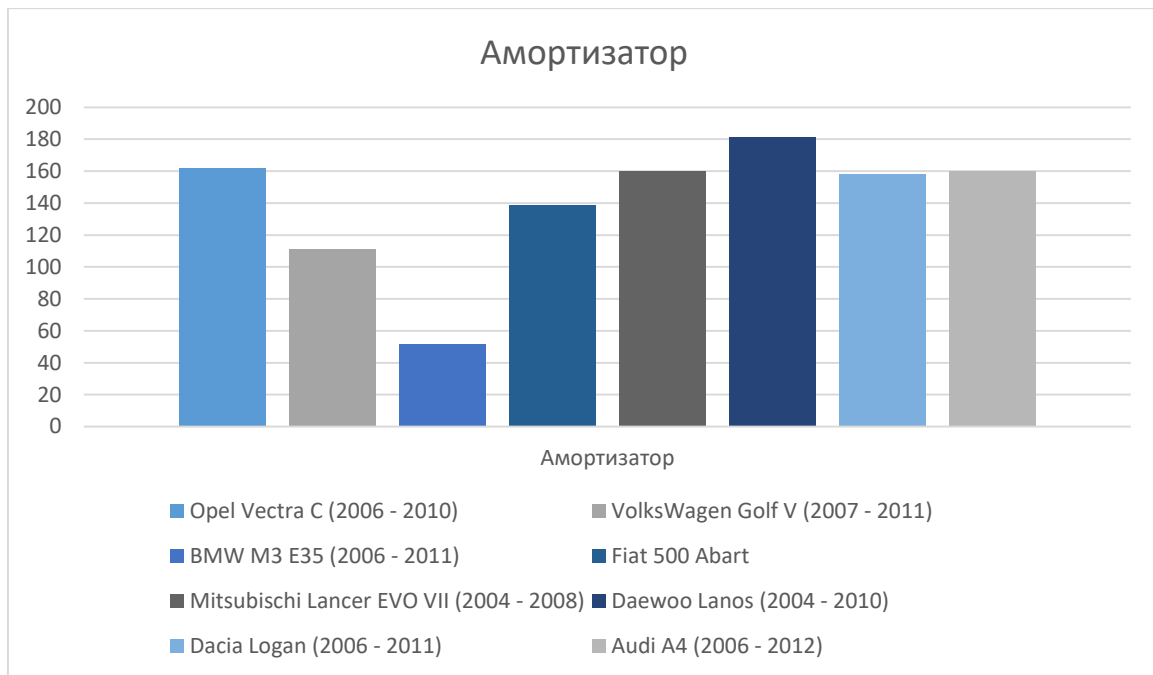


Рис. 3.7 Порівняння амортизаторазаложеності від марки досліджуваної машини та пройденого пробігу

Як видно з рис. 3.5 – 3.7:

- Для підшипника ступиці діапазон більш детального діагностування програмою – 40 – 90 тис. км.
- Для стійки стабілізатора поперечної стійкості діапазон більш детального діагностування програмою – 90 – 125 тис. км.
- Для амортизатора діапазон більш детального діагностування програмою – 60 – 120 тис. км.

На задній вісі маємо дещо іншу ситуацію, оскільки там деталей значно менше, тому із ладу виходять лише:

- стабілізатор поперечної стабільності
- амортизатор.

Розглянемо на тих же авто, протягом якого часу деталі виходили із ладу: З більш детальною інформацією можна ознайомитись на діаграмах які наведені нижче або у Додаток Б

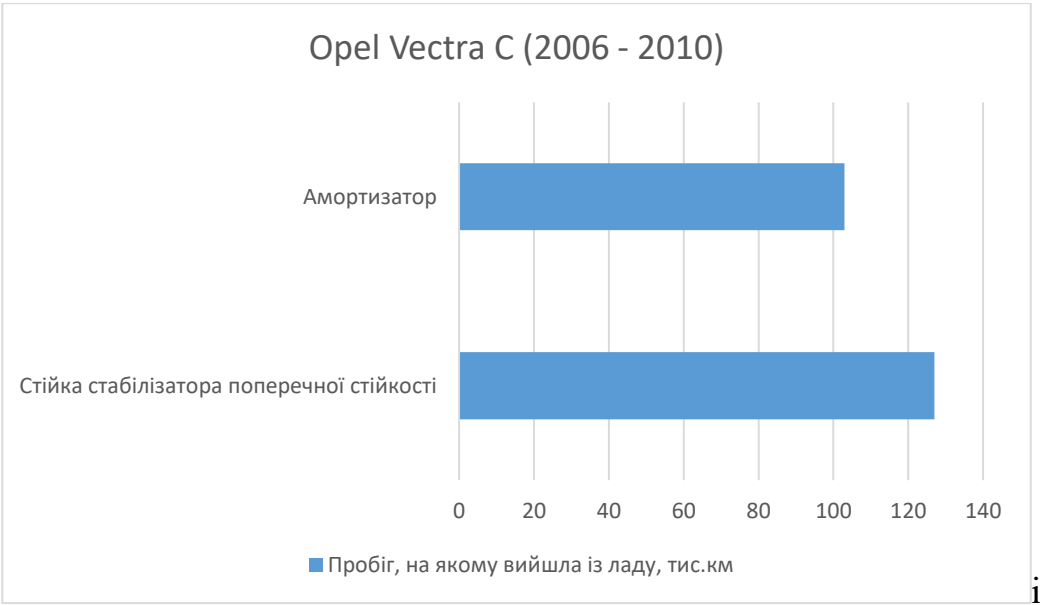


Рис. 3.8. Середнє значення залежності дефект/пробіг

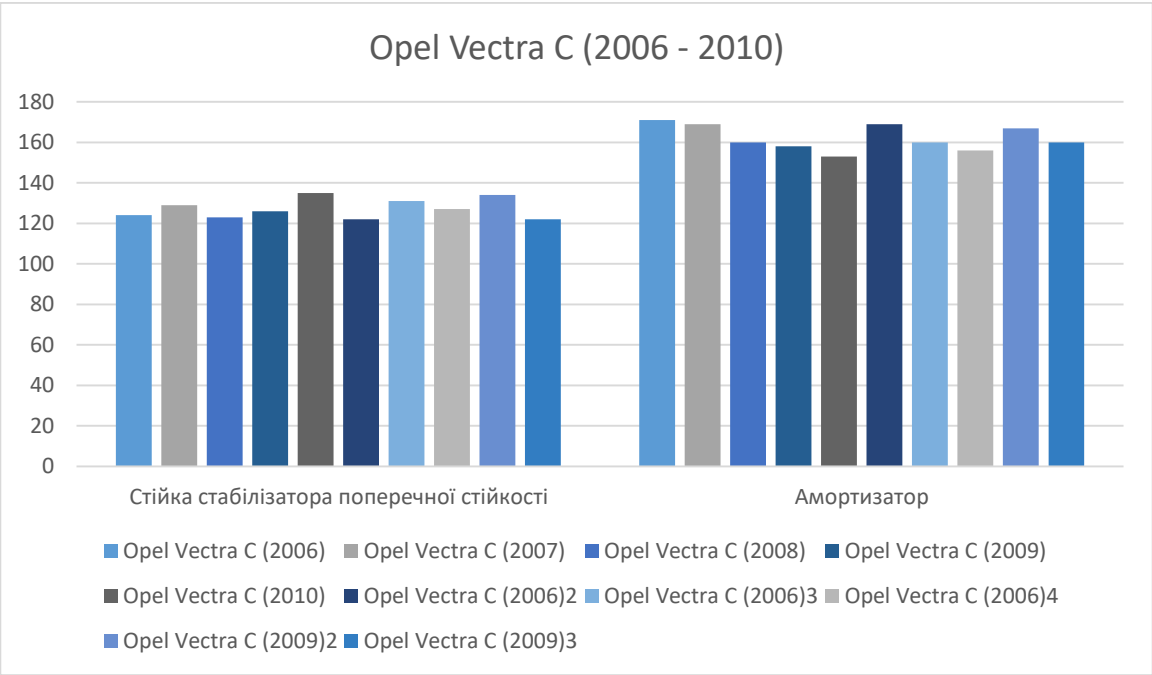


Рис. 3.9. Значення залежності дефект/пробіг по кожній машині

Оскільки комплекс вібродіагностики ходової частини працює в режимі реального часу, то для того щоб знати з якого діапазону пробігу потрібно проводити частіше та більш детально, проведемо порівняльну характеристику кожної частини ходової, між машинами які приймали участь в соціальному опитуванні.

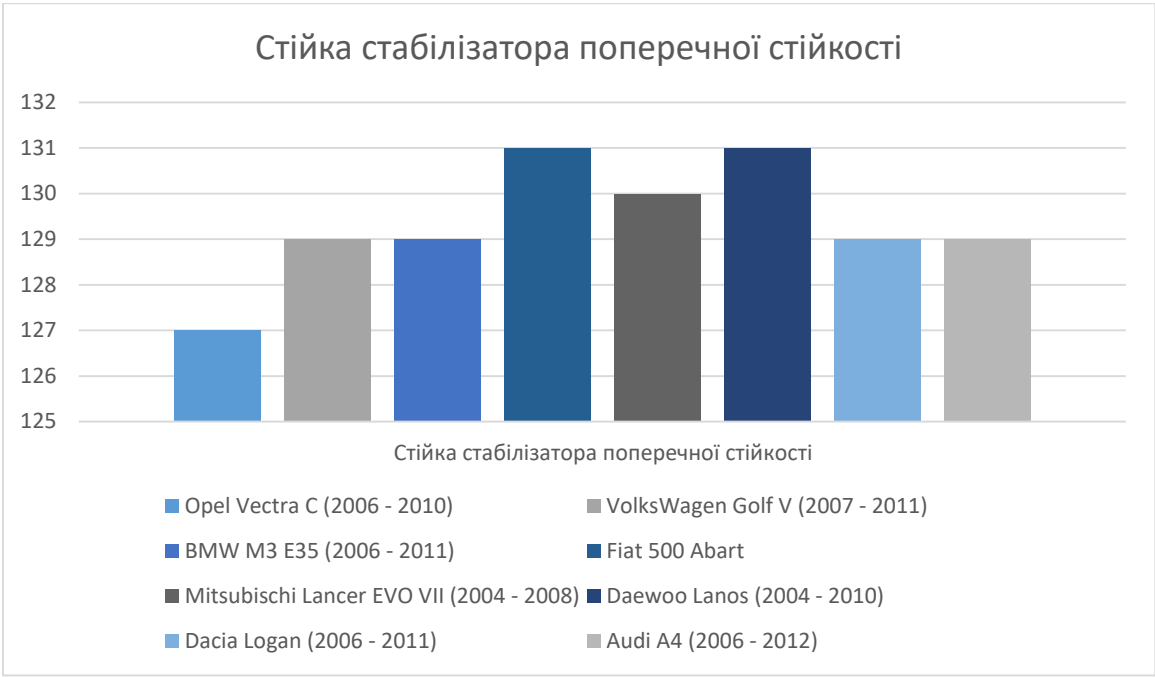


Рис. 3.10. Порівняння стійки стабілізатора поперечної стійкостів залежності від марки досліджуваної машини та пройденого пробігу

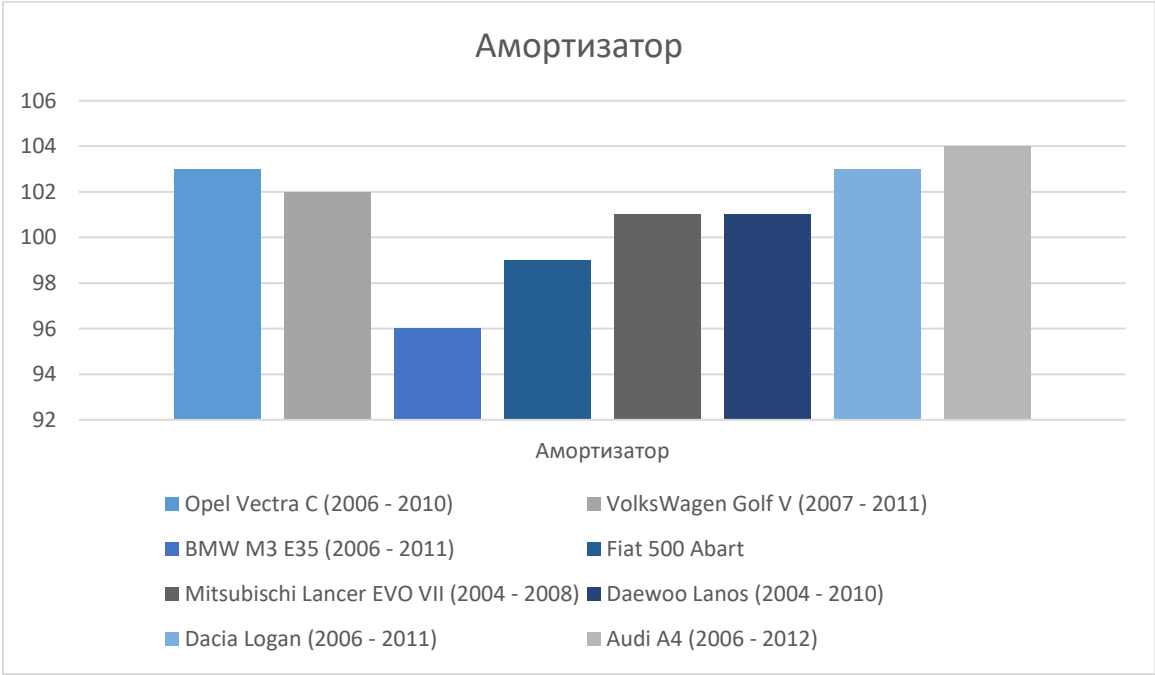


Рис. 3.11. Порівняння амортизатора залежності від марки досліджуваної машини та пройденого пробігу

З рис. 3.10–3.11 зробимо наступні висновки:

- Для стійки стабілізатора поперечної стійкості діапазон більш детального діагностування програмою – 125 – 130 тис. км.

- Для амортизатора діапазон більш детального діагностування програмою – 95 – 100 тис. км.

Як видно з результатів опитування мінімальна кількість датчиків на середньостатистичне авто варіюється від 5 до 10 (6 датчиків на передній піввісі та 4 датчики на задню). У нашому випадку ходова частина більше всього схожа з Opel Vectra C та Volkswagen Golf IV.

3.3. Побудова та тестове діагностування програмного забезпечення

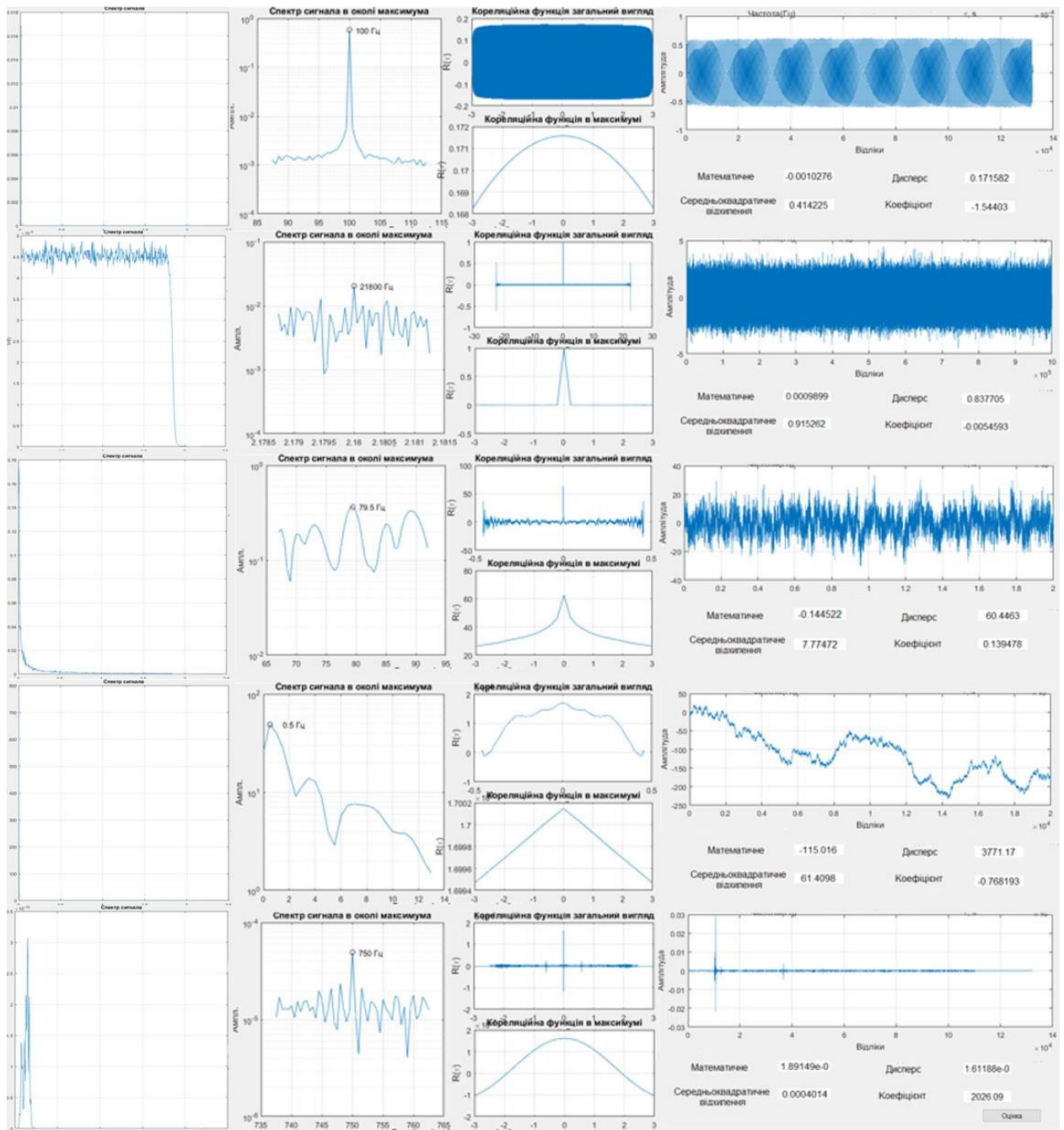
Для більш зручного використання програмного забезпечення було прийнято рішення розділити програму на два блоки:

- блок неперервного діагностування, інтегрований в бортовий комп'ютер машини, який виводить тільки кінцеву оцінку стану ходової частини машини;
- блок розгорнутого діагностування, який виводить розгорнуту картину станів деталей ходової частини машини на ПК.

Спочатку розглянемо другий блок програми. Цей блок має розгорнутий вид діагностики для того, що б інженер-механік міг докладно проаналізувати стан деталей ходової частини автомобіля і подивитися попередню оцінку, на основі цих даних можна буде зробити висновки щодо подальшого ремонту машини.

Після того як за допомогою пристрою VibroSUBTest з датчиків було знято сигнал та переданий на комп'ютер інженер-механіка через USB порт. Після передачі сигналу на комп'ютер та обробки його, програма видає вікно з обробленою інформацією.

У розгорнутому вигляді програма має наступний вигляд Рис. 3.12



- Канал 5 – амортизатор.

Кожен канал в режимі реального часу оброблює і виводить на екран ПК наступну інформацію:

- реалізація сигналу;
- спектральний аналіз;
- статистичний аналіз;
- кореляційний аналіз.

Розглянемо основні етапи побудови програми розгорнутого виду.

Для отримання вірної реалізації потрібно звільнитися від високочастотних шумів АЦП. Частота дискретизації для даного АЦП є 44100 Гц при розрядності даних 16 біт. Для придушення високочастотних шумів доцільно використати цифровий низькочастотний фільтр, досить високого порядку $N=12$, з частотою зрізу $F_c=5500$ Гц (вибір цієї частоти обумовлений особливостями пристрою).

Фільтрів низької частоти, що має рівну смугу пропускання, тому був вибраний фільтр з апроксимацією Баттерворта (рис. 3.13).

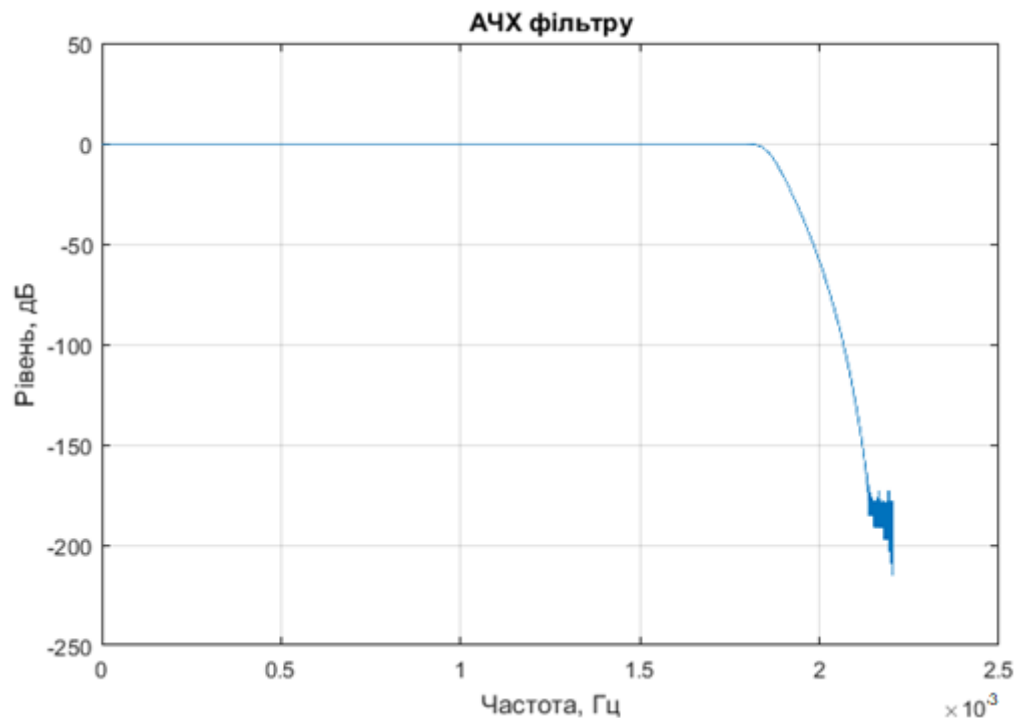


Рис. 3.13. АЧХ фільтру Баттерворта

Після фільтрації можна бути впевненим, що подальша реалізація буде вірною. Реалізацією сигналу можна назвати відношення амплітуд сигналу на кожний момент часу.

Після отримання реалізації важливим для подальшого моніторингу і оцінки є спектр сигналу, адже він несе в собі інформацію про основні гармоніки на фоні шуму (рис. 3.14). Для побудови спектру зручніше використовувати оцінку спектральної щільності Уелча та зробити перехід від відділків до частоти [31].

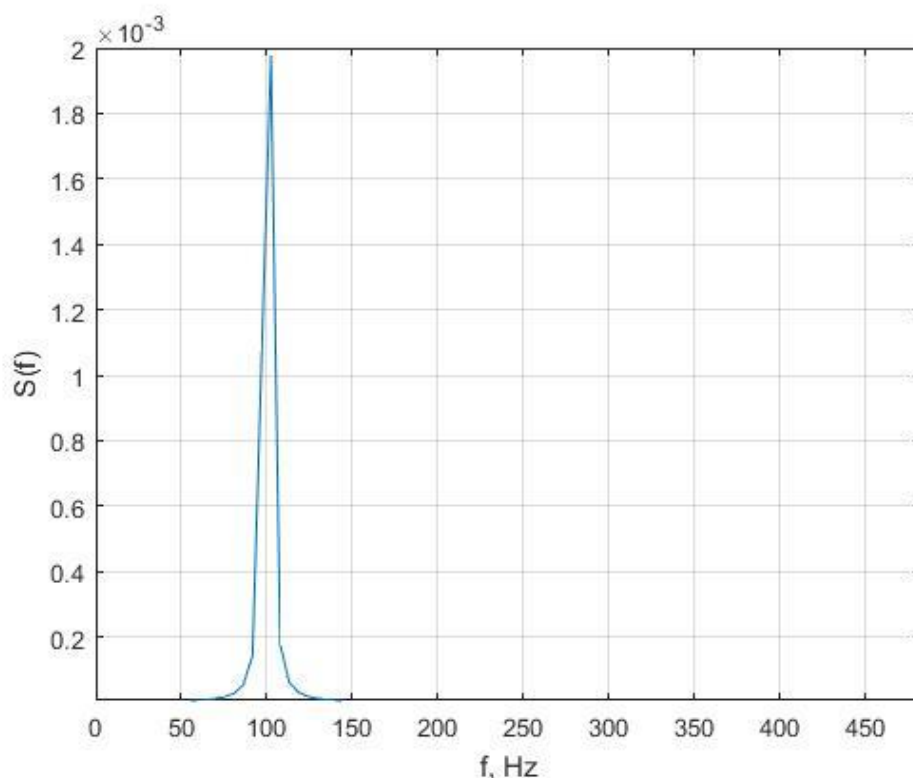


Рис. 3.14. Спектр гармонічного сигналу з частотою 100Гц

Також не малу роль у оцінці сигналу при вібродіагностиці грають числові характеристики, а саме математичне сподівання, дисперсія, коефіцієнт ексцесу та середньоквадратичне відхилення, ці параметри між собою зв'язані та на основі них ґрунтується кінцева оцінка стану деталі.

У практичних завданнях часто виявляється необхідним встановити наявність або відсутність зв'язку двох випадкових процесів, для цього будемо використовувати кореляційну функцію.

Для оцінки стану підвіски машини, програма виводить кінцевий екран, який показує стан пристрою на момент вимірювань [31].

Критерії оцінки вібраційного стану машин пов'язані з визначення меж для абсолютного значення параметра вібрації, відповідних допустимим динамічним навантаженням і допустимої вібрації, яка передається назовні. Максимальне значення, отримане в результаті вимірювання на кожному підшипнику або іншій частині ходової машини з межами трьох зон, які об'єднують в собі порівняння таблиць зразкових значень меж зон середнього квадратичного значення віброшвидкості та значення оцінок коефіцієнта ексцесу .

На прикладі підшипника ступиці отримаємо таблицю меж станів справності ходової машини. табл. 3.2

Таблиця 3.2. Зразкові значення меж зон

$V_{r.m.s}$, мм/с	γ_4	Зона
0,28 – 0,71	0,1153 – 0,6407	А
1,12 – 4,5	0,6587 – 1,0711	В
7,1 – 45	1,0851 – 1,303	С

Зона А – Всі деталі ходової в порядку.

Зона В – Одна з частин ходової в режимі зносу.

Зона С – Одна з частин ходової на межі поломки.

Оскільки у відведений час для написання роботи, не вийшло домовитися з представництвом Volkswagen для отримання теоретичних і практичних даних для діагностики автомобіля, не вийшло написати вирішальні правила діагностування авто. Було прийнято рішення провести ряд експериментів на основі яких можна було б скласти таблиці зі значеннями кумулянтів і середньоквадратичного значення віброшвидкості, на яких базуються основні правила виведення оцінки. У експерименту мало взяти участь 15 машин Volkswagen Golf V (2006 – 2010), а саме:

- 5 машин 2006 року;

- 3 машини 2007 року;
- 1 машина 2008 року;
- 4 машини 2009 року;
- 2 машин 2010 року.

Оскільки планувалося, що цей комплекс постійно працює в режимі реального часу, то виникло питання сторонніх шумів і вібрацій при реєстрації датчиків сигналу, від яких потрібно було позбутися. Для цього потрібен був еталонний сигнал. Для того, щоб його отримати, потрібно було загнати машину на вібростенд і підключити усі датчики до необхідних деталей, записати його і згодом усереднити отримавши еталонний сигнал для справної ходової частини машини. Теж саме потрібно було зробити з кожною частиною підвіски, в різних її станах: знос, сильному зносі, пошкодження, яке підлягає ремонту і пошкодження, яке не підлягає ремонту.

Після потрібно було провести додаткові експерименти з автомобілями і зареєструвати сигнали з них сигнали. Потім зрівняти отриманий сигнал з еталонним, після цього виводити сигнал в програму діагностики.

Оскільки на даний момент експериментальні дані ще не до кінця отримані, було прийнято рішення перевірити програму на багатопотоковість і виділення неінформативної складової на групі підшипників ступиці:

- Перша група: все підшипники справні;
- Друга група: один з підшипників перебуває в зоні зносу;
- Третя група: один з підшипників зламаний і підлягає ремонту, а один знаходиться в зоні зносу.

Результати експериментів представлені на малюнках нижче (рис. 3.18-3.23):



Рис. 3.15. Перша група: все підшипники справні

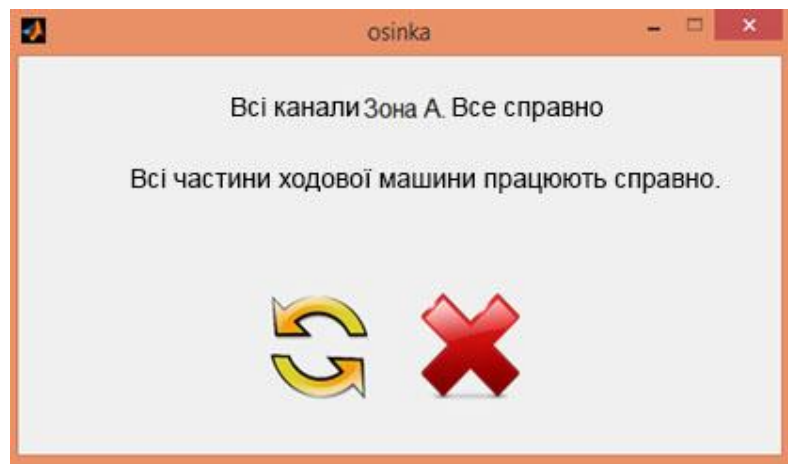


Рис. 3.16. Оцінка результатів першої групи підшипників

На рис.3.15 представлені всі 5 каналів, що справно працюють, такий режим для програми є примусовим і виводитися тільки при виборі вручну всіх каналів.

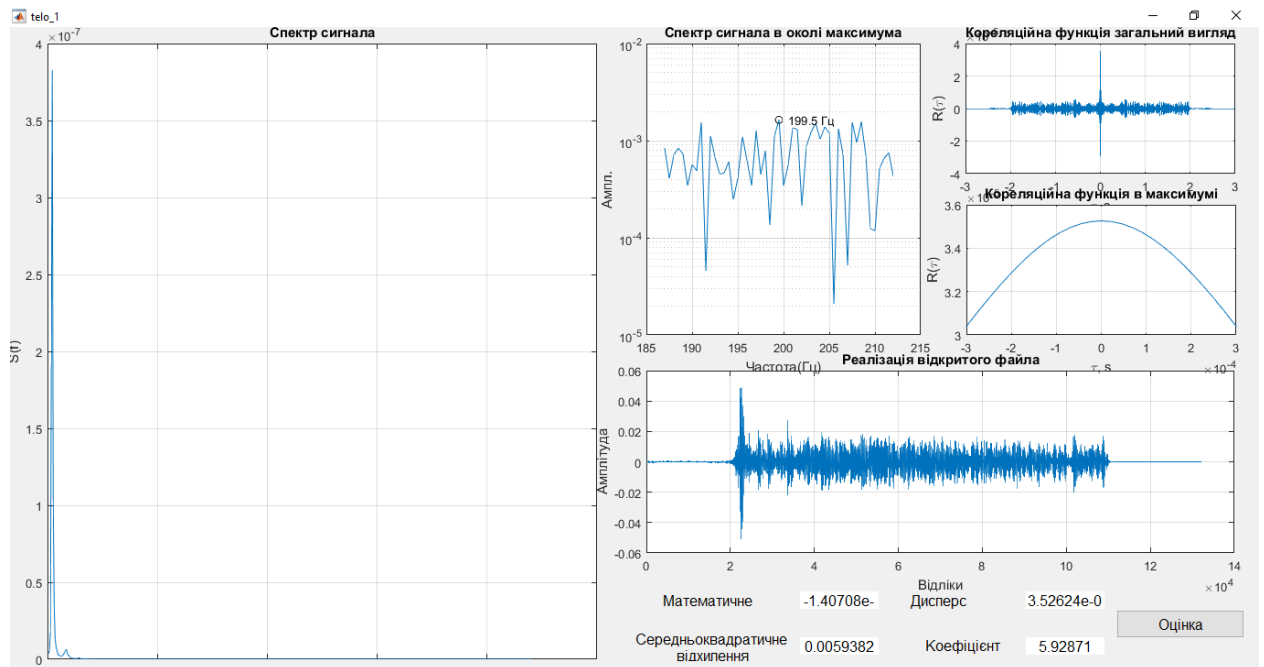


Рис. 3.17. Друга група: один з підшипників перебувати в зоні зносу;



Рис. 3.18. оцінка результатів другої групи підшипників;

На рис. 3.17 представлений тільки 1 канал, який вимагає профілактичного ремонту. Коли один з каналів входить в зону зносу або в зону поломки, програма виводить тільки цей канал, для того, щоб вивчити більш детально саме ту деталь яка вимагає профілактики, якщо ж таких деталей буде кілька, то програми відповідно виведе кілька каналів і дасть оцінку саме по ним.

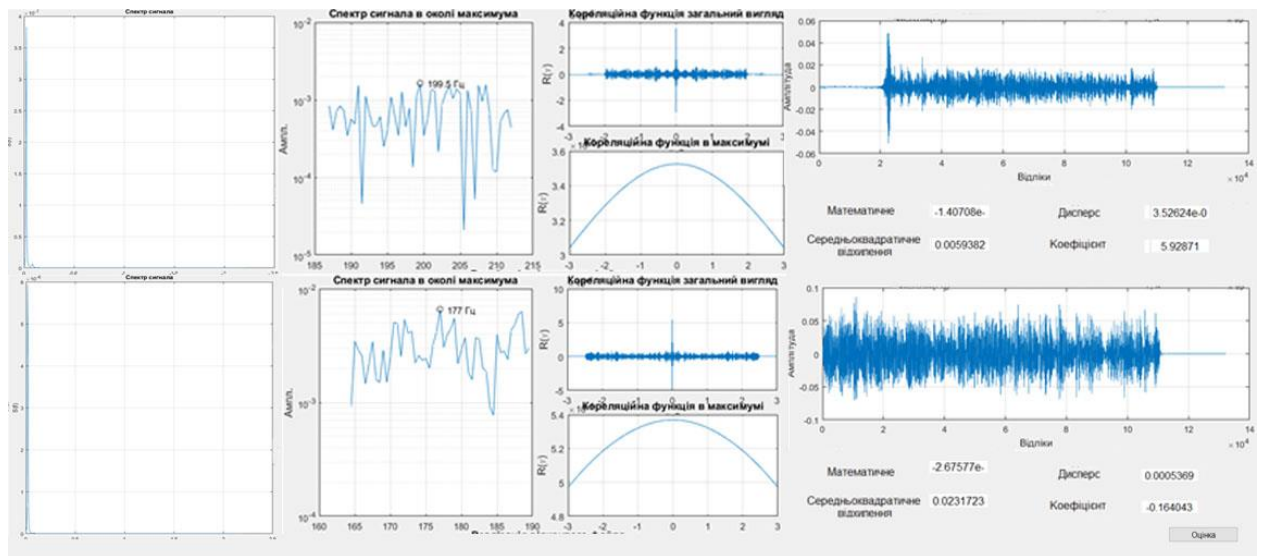


Рис. 3.19. Третя група: один з підшипників зламаний і підлягає ремонту,
а один знаходиться в зоні зносу

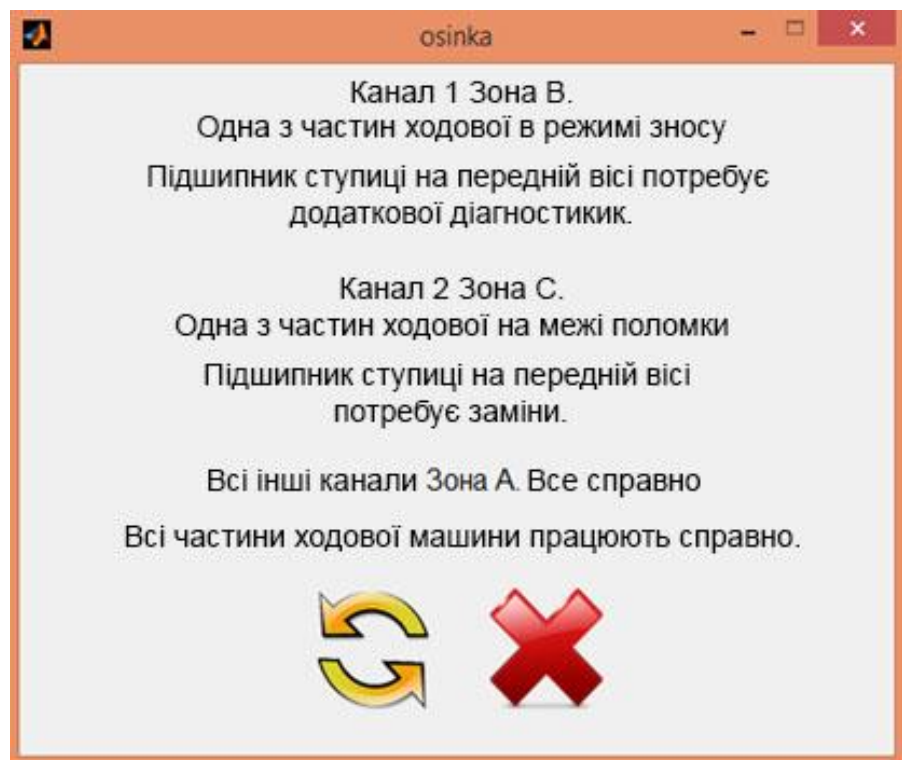


Рис. 3.20. Оцінка результатів третьої групи підшипників

Розглянемо блок безперервного діагностування.

Перший блок програми розрахований тільки на оповіщення для користувача, тому ніякої додаткової інформації крім повідомлення не надає користувачеві.

Оскільки у кожної машини буде свій бортовий комп'ютер і у кожного бортового комп'ютера може бути своя власна оболонка, то тестову програму безперервного блоку будемо моделювати для перевірки на андроїд в програмному середовищі Eclipse [32].

Розглянемо основні етапи побудови програми в Eclipse.

Для того щоб створити повідомлення в рядку стану, необхідно використовувати два класи:

- **Notification** — визначаємо властивості повідомлення рядка стану: значок, розширене повідомлення і додаткові параметри налаштування (звук і ін.)
- **NotificationManager** — системний сервіс Android, який керує всіма повідомленнями. Примірник **NotificationManager** створюється за допомогою виклику методу **getSystemService()**, а потім, коли треба показати повідомлення користувачу, викликається метод **notify()**. Нещодавно з'явився більш простий спосіб через метод **from()**

Для підтримки старих пристроїв використовується клас **NotificationCompat.Builder**, який входить в пакет **android.support.v4.app** Для нових пристроїв можна використовувати **Notification.Builder**, хоча в реальних проектах краще поки використовувати **NotificationCompat.Builder**, щоб додаток працювало всюди. Нещодавно з'явилася ще одна причина використовувати цю бібліотеку — а саме там є методи, що дозволяють виводити повідомлення на годинник під управлінням Android Wear.

Додамо на екран активності кнопку і створимо простий приклад для демонстрації роботи повідомлення рис. 3.21.

```

import android.app.Notification;
import android.app.NotificationManager;
import android.app.PendingIntent;
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.content.res.Resources;
import android.graphics.BitmapFactory;
import android.os.Bundle;
import android.support.v4.app.NotificationCompat;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.view.View;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {

    // Идентификатор уведомления
    private static final int NOTIFY_ID = 101;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);

        setContentView(R.layout.activity_main);
    }

    public void onClick(View view) {

        Intent notificationIntent = new Intent(this, MainActivity.class);
        PendingIntent contentIntent = PendingIntent.getActivity(this,
            0, notificationIntent,
            PendingIntent.FLAG_CANCEL_CURRENT);

        Resources res = this.getResources();

        // до версии Android 8.0 API 26
        NotificationCompat.Builder builder = new NotificationCompat.Builder(this);

        builder.setContentIntent(contentIntent)
            // обязательные настройки
            .setSmallIcon(R.drawable.ic_launcher_cat)
            // .setContentTitle(res.getString(R.string.notifytitle)) // Заголовок уведомления
            .setContentTitle("Напоминание")
            // .setContentText(res.getString(R.string.notifytext))
            .setContentText("Пора покормить кота") // Текст уведомления
            // необязательные настройки
            .setLargeIcon(BitmapFactory.decodeResource(res, R.drawable.hungrycat)) // большая
            // картинка
            // .setTicker(res.getString(R.string.warning)) // текст в строке состояния
            .setTicker("Последнее китайское предупреждение!")
            .setWhen(System.currentTimeMillis())
            .setAutoCancel(true); // автоматически закрыть уведомление после нажатия

        NotificationManager notificationManager =
            (NotificationManager) getSystemService(Context.NOTIFICATION_SERVICE);
        // Альтернативный вариант
        // NotificationManagerCompat notificationManager = NotificationManagerCompat.from(this);
        notificationManager.notify(NOTIFY_ID, builder.build());
    }
}

```

Рис. 3.21. Приклад коду у середовищі Eclipse для демонстрації роботи повідомлення

Для початку треба створити ідентифікатор повідомлення. Він потрібен, щоб можна було розрізняти повідомлення один від одного. Якщо буде один

ідентифікатор, то кожне нове повідомлення затре попереднє і користувач не побачить попередні повідомлення. Для ідентифікатора будемо використовувати яке-небудь число.

Далі формується зовнішній вигляд і поведінку повідомлення через побудовник **Notification.Builder**.

Також потрібні об'єкти **Intent** і **PendingIntent**, які описують наміри і цільові дії. У нашому випадку запусимо активність, коли користувач зреагує на повідомлення.

Починаючи з API 16, замість застарілого методу **getNotification()** слід використовувати метод **build()**.

Далі треба сформувати повідомлення за допомогою спеціального менеджера. Посилання на **NotificationManager** можна отримати через виклик методу **getSystemService()**, передавши йому в якості параметра строкову константу **NOTIFICATION_SERVICE**, визначену в класі **Context**.

Також є інший варіант через метод **from()** (закоментований в кодї). Виводиться повідомлення за допомогою методу **notify()** – своєрідний аналог методу **show()** у **Toast** з попереднього уроку.

На рис. 3.24 видно, як з'явився маленький значок. Також з'являється текст, який швидко зникає.

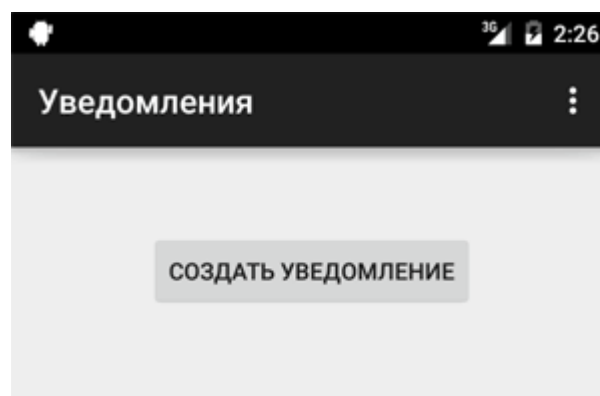


Рис. 3.22. Візуалізація повідомлення

У кодi можна побачити попередження, що використання конструктора **NotificationCompat.Builder(this)** застарiло. Це справедливо для пристроїв з Android 8.0 i вище. Поки ми будемо це iгнорувати.

Якщо торкнутися повідомлення, то запуститься наша програма (навіть якщо вона була перед цим закрита).

Зовсім не обов'язково запускати свій додаток, хоча це є поширеною практикою. Можете задати потрібну поведінку, наприклад, «нічого не робити».

Також можна вивести iндикатор прогресу, щоб вказати поточний хiд виконання завдання. Можна встановити нескiнченне виконання:

```
setProgress (100, 50, false);
```

Реалiзацiя команди «нічого не робити»

Наша мета – тiльки вивести повідомлення, але не запускати активнiсть при натисканнi на самому повідомленнi, тому використовуємо виклик намірів без параметрiв:

```
Intent intent = new Intent ();
```

Використання налаштувань за замовчуванням

Можна додати вiбрацiю, звуковий сигнал або мерехтіння свiтлодіодами для повідомлень за допомогою налаштувань за замовчуванням. У властивості **defaults** можна поєднувати такі константи:

- Notification.DEFAULT_LIGHTS
- Notification.DEFAULT_SOUND
- Notification.DEFAULT_VIBRATE

Щоб до повідомлення додати звук i вiбрацiї за замовчуванням, використовуємо код:

```
notification.defaults = Notification.DEFAULT_SOUND |  
Notification.DEFAULT_VIBRATE;
```

Для того, щоб встановити вiдразу всі значення за замовчуванням, задіємо константу **Notification.DEFAULT_ALL**.

Поточні i наполегливі повідомлення

Повідомлення можуть бути поточними і / або наполегливими, встановлюючи прапори **FLAG_INSISTENT** і **FLAG_ONGOING_EVENT**. Повідомлення, помічені як поточні, використовуються для подання подій, які виконуються в даний момент часу (наприклад, завантаження файлу, фонове відтворення музики). Поточні повідомлення необхідні для сервісів, що працюють на передньому плані. Приклад установки прапорів:

```
notification.flags = notification.flags |
Notification.FLAG_ONGOING_EVENT;
```

У розширеному статусному рядку поточні події відділені від звичайних, щоб ви відразу можна було їх відрізнити.

Наполегливі повідомлення безперервно повторюють звукові сигнали, вібрують і мерехтять світлодіодами, поки не будуть зупинені. Подібні повідомлення, як правило, використовуються для подій, які вимагають негайної і своєчасної уваги, таких як вхідний дзвінок, спрацьовування будильника, в нашому випадку це зміна в ходової машини.

У наступному фрагменті коду показано, як зробити повідомлення наполегливим:

```
notification.flags = notification.flags | Notification.FLAG_INSISTENT;
```

У методі **getActivity()** може знадобитися змінити прапор, наприклад.

```
PendingIntent pendingIntent = PendingIntent.getActivity(
    context,
    0, intent, Intent.FLAG_ACTIVITY_NEW_TASK);
```

Існують і інші прапори. Хоча в більшості випадків використовується просто 0.

Пріоритет

Не всі повідомлення однакові важливі. Наприклад, що зламана одна з деталей ходової машини – це надважливе повідомлення. Загроза землетрусу, цунамі, урагани – теж дуже важливі повідомлення. Нові версії програми, новий лист і т.д. – не надто важливі повідомлення.

В API 16 з'явився новий метод **setPriority()** з константами в міру збільшення: **Notification.PRIORITY_MIN**, **Notification.PRIORITY_LOW**, **Notification.PRIORITY_DEFAULT**, **Notification.PRIORITY_HIGH**, **Notification.PRIORITY_MAX** і аналогічні константи з класу **NotificationCompat**.

```
public void OnClick(View v) {
    final int NOTIFICATION_ID = 1;

    PendingIntent activityPendingIntent = getActivityPendingIntent();

    Notification notification = new NotificationCompat.Builder(this)
        .setContentTitle("Терміново!")
        .setContentText("...!")
        .setSmallIcon(R.mipmap.ic_launcher)
        .setContentIntent(activityPendingIntent)
        .setPriority(NotificationCompat.PRIORITY_HIGH)
        .setDefaults(NotificationCompat.DEFAULT_ALL)
        .setCategory(NotificationCompat.CATEGORY_STATUS)
        .build();

    NotificationManagerCompat notificationManager =
    NotificationManagerCompat.from(this);
    notificationManager.notify(NOTIFICATION_ID, notification);
}

private PendingIntent getActivityPendingIntent() {
    Intent activityIntent = new Intent(this, MainActivity.class);
    activityIntent.addFlags(Intent.FLAG_ACTIVITY_SINGLE_TOP);
    return PendingIntent.getActivity(this, 0, activityIntent,
    PendingIntent.FLAG_UPDATE_CURRENT);}
```

Чим вище пріоритет повідомлення, тим вище він знаходиться серед інших повідомлень. Таким чином, важливі повідомлення завжди будуть нагорі, навіть якщо надійшли пізніше інших менш важливих повідомлень.

В Android 5.0 сталися невеликі зміни в поведінці. Якщо встановлені максимальні пріоритети **Notification.PRIORITY_HIGH** або **Notification.MAX**, то при виклику спочатку повідомлення з'явиться у вигляді плаваючого вікна у верхній частині екрану, а тільки потім закриється і залишиться у вигляді стандартного повідомлення в рядку стану.

В Android 8.0 замість пріоритетів стали використовувати важливість – **IMPORTANCE_XXX** [33].

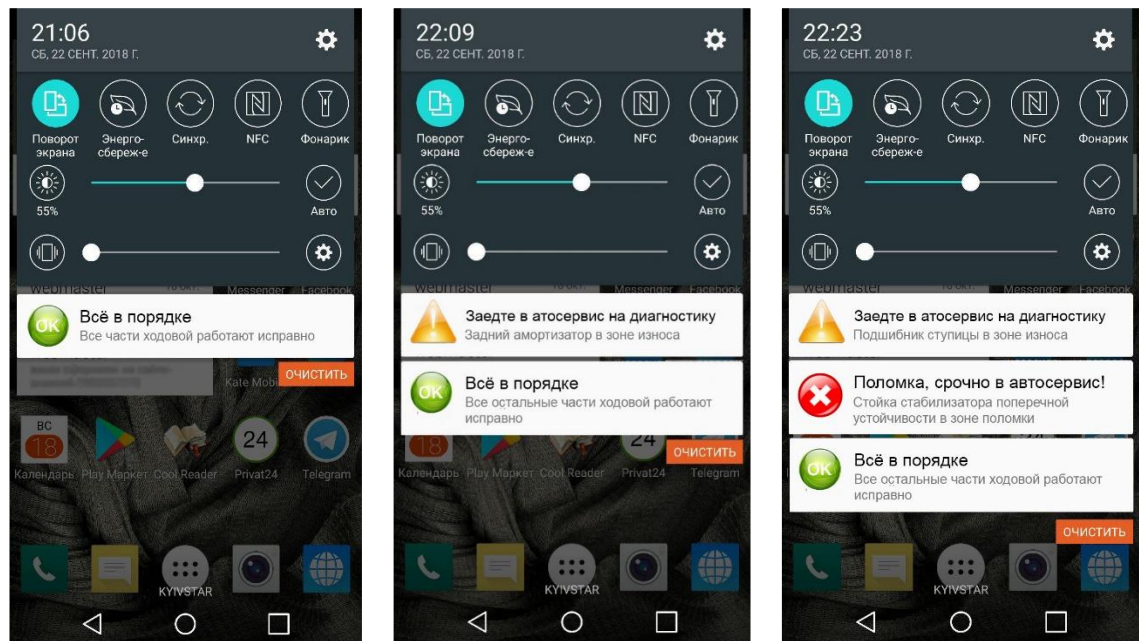
У повідомленнях можна використовувати власний макет, використовуючи **RemoteViews**. Для стилізації макета існують класи **DecoratedCustomViewStyle** і **DecoratedMediaCustomViewStyle**. Підключається через метод **setCustomContentView()**.

```
RemoteViews remoteViews = new RemoteViews(context.getPackageName(),
R.layout.notification_custom_view);

remoteViews.setImageViewResource(R.id.image_icon, iconResource);
remoteViews.setTextViewText(R.id.text_title, title);
remoteViews.setTextViewText(R.id.text_message, message);
remoteViews.setImageViewResource(R.id.image_end, imageResource);
```

```
Notification.Builder builder = new Notification.Builder(context)
    .setSmallIcon(R.drawable.ic_phonelink_ring_primary_24dp)
    .setCustomContentView(remoteViews)
    .setStyle(new Notification.DecoratedCustomViewStyle());
    .setAutoCancel(true);
```

На рис. 3.23 (а-в) представлені скріншоти змодельованого макета програми.



а)

б)

в)

Рис. 3.23. Макет програмного забезпечення на андроїд: а) всі деталі ходової в порядку; б) одна з частин ходової в режимі зносу; в) одна з частин ходової на межі поломки, а друга в режимі зносу

На рис. 3.23 показано як повинна повідомляти програма користувача, в різних випадках, залежно від того які дані надходять з датчиків.

Як видно на рис. 3.23 у програми є три типи повідомлення:

- всі деталі ходової в порядку;
- одна з частин ходової в режимі зносу;
- одна з частин ходової на межі поломки.

Для того щоб програма вивела те чи інше повідомлення в код програми включені правила і межі основних, найбільш чутливих до поломки, параметрів, а саме:

- параметр середнього квадратичного значення віброшвидкості;
- параметр оцінки коефіцієнта ексцесу.

Як було зазначено вище основними принципами на яких базується оцінка, стану тієї чи іншої частини ходової машини, на перетині параметрів середнього квадратичного значення віброшвидкості та значення оцінок коефіцієнта ексцесу табл. 3.2

Висновки до третього розділу

В даному розділі були визначені проблемні місця ходової частини авто. Було вирішено питання кількості датчиків і місця розташування. Так само було визначено діапазон пробігу при якому програма буде частіше проводити контрольні заміри, провівши порівняльну характеристику отриманих даних.

У третій частині розділу була протестована програма яка обробляє і видає діагностику по знятому сигналу з підшипників. За експериментальним даними третьої частини розділу можна зробити висновок, що реєстрація сигналу проводиться коректно і основні аспекти програми так само працюють коректно.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

Пропонується проект під назвою «Система діагностики основних вузлів ходової частини авто». Почнемо з маркетингового аналізу стартап-проекту, де буде описана ідея, оцінені можливості її ринкового впровадження та напрямки його реалізації (табл. 4.1 та 4.2).

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система, призначена для своєчасного виявлення дефектів підвіски автомобіля.	1.Автомобільна промисловість	1. Своєчасне визначення дефекту та збереження життя під час пересування
	2.Акустична експертиза виявлення дефектів	1. Оцінювання якості каналу зв'язку 2. Оцінювання захищеності каналу

Від існуючих аналогів даний комплекс відрізняється:

- 1) Більш детальною оцінкою стану деталі;
- 2) Безпосередня діагностика на автомобілі.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко економічні х-ки ідеї	Товари/концепції конкурентів			Сильна	Нейтральна	Слабка
		Мій	Вібростенд	Суб'єктивний			
1.	Ціна	\$300	\$4000	Дані відсутні			+
2.	Лояльність споживачів	Висока	Висока	Висока			+
3.	Необхідність спеціальних знань для використання	Не потребується	Потребується	Потребується			+
4.	Законодавчі обмеження	Відсутні	Наявні	Наявні			+
5.	Економія на масштабах вимірювань	Так	Так	Так		+	
6.	Динаміка галузі	Стабільна	Стабільна	Стабільна		+	
7.	Інформаційне забезпечення	Добре	Посереднє	Посереднє			+
9.	Контроль якості	Проводиться	Проводиться	Відсутній			+
10	Кроссплатформеність	Можлива	Можлива	Не можлива			+

Технологічний аудит проекту полягає у визначенні технології, за якою реалізується проект (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Запис тестових сигналів	Використання обладнання для запису	Наявні	Доступно
2	Створення спотворень	1) Запис існуючих шумів 2) Синтез шумів	1) Наявні 2) Потребують доробки	1) Доступно 1) Доступно
3	Проведення процедури тестування	Програмними засобами: 1) Відтворення записів 2) Спотворення сигналів 3) Введення відповідей 4) Співставлення введеного з еталоном	1) Потребує доробки 2) Потребує розробки 3) Потребує доробки 4) Потребує доробки	1) Доступно 2) Доступно 3) Доступно 4) Доступно
4	Повернення результатів	Програмними засобами: 1) Видача середніх значень за дослідом 2) Побудова усереднених графіків	1) Потребує доробки 2) Потребує доробки	1) Доступно 2) Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: створення програм у середовищі MATLAB. З п.2 обрано другий варіант реалізації, інші пункти потребують використання всіх вказаних варіантів. Технологія є доступною та потребує вкладу розробників.				

Необхідно проаналізувати ринок з врахуванням ринкових можливостей та загроз, загального стану ринку та можливостей клієнтів. Аналіз попиту наведено в табл. 4.4, потенційні групи клієнтів визначаються за допомогою табл. 4.5, аналіз ринкового середовища – у табл. 4.6 та 4.7. Також проведено аналіз пропозиції (табл. 4.8) та конкуренції в галузі (табл. 4.9). Підсумком є перелік факторів конкурентоспроможності у табл. 4.10.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн./ум. од.	10000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Бажано пройти державну сертифікацію у сфері стандартизації вимірювань
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

За попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що фор- мує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різ- них потенцій- них цільових груп клієнтів	Вимоги спожи- вачів до товару
1	Спрощена та прис- корена процедура вимірювань	Спеціалісти у сферах автомобі- лебудуванні, спе- ціалісти у сфері вібродіагностики, інші люди, що проводять акусти- чну експертизу приміщень та ка- налів зв'язку	Орієнтація програмного забезпечення під конкретну сферу та від- повідність їх діючим стан- дартам	- до продукції: Швидкодія, зручність вико- ристання, зро- зумілість, точ- ність резуль- тату - до компанії постачальника: Забезпечення регулярних оновлень та до- ступності ро- боти програм- ного забезпе- чення на будь- яких платфор- мах
2	Можливість оцінки для національної мови	Спеціалісти у сфері вібродіагно- стики		

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Незацікавленість аудиторії	Неготовність потенціальних клієнтів купувати продукт	Розширення можливостей комплексу
2	Поява прямого конкуренту	Втрата клієнтів, зменшення прибутків	Вдосконалення роботи у порівнянні з власним та конкурентним програмним забезпеченням
3	Постачальник бази програмного забезпечення	Заборона на реалізацію комплексу на базі цього середовища	Перехід на інше середовище

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність прямих конкурентів	Стрімкий розвиток, можливість встановлювати свою ціну	Захоплення ринку
2	Потреба у оновленні національних стандартів	Можливість отримати державну підтримку	-
3	Різноманітність задач акустичної експертизи	Постійна зацікавленість аудиторії	Розширення функціоналу та можливостей, створення різних версій програм для різних задач

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Олігополія	Конкуренти зосереджені на інших регіонах світу	Підтримка результату
Світова боротьба	Відсутня локальна боротьба	Підтримка результату, захоплення підприємством стійких позицій
Внутрішньогалузева конкуренція	Спеціалісти інших галузей не можуть вплинути на ринок	Впевнена позиція в ніші
Товарно-видова конкуренція	Пропонуються заміники (наприклад, базовані на об'єктивних методах)	Створює необхідність виробництва конкурентного продукту
Нецінові переваги	Специфічний набір функцій, що не відтворений у інших	Необхідність оберігати технологію
Не марочна конкуренція	Немає товарів-аналогів	Утримання позиції

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари -замінники
	Вібростенди	Необхідна наявність доволі трудомісткого у створенні програмного забезпечення	Дозвіл на використання свого програмного забезпечення та його доступність	Зацікавленість у продукті, Можливість купувати	Краще виконання функцій; вищі показники точності
Висновки	Інтенсивність боротьби слаба через сконцентрованість кожного конкурента на своєму географічному регіоні	Потенційні конкуренти можуть увійти в ринок в межах року.	Постачальники не можуть диктувати умови, оскільки їх конкуренція висока	Клієнти вимагають певного набору функцій за найнижчою ціною	Необхідно обережно вводити деякі конкурентні функції

З огляду на конкурентну ситуацію можливість роботи на ринку є. Основні конкуренти зосереджені на своїх географічних регіонах, потенційні не можуть швидко увійти на ринок. Найбільший вплив вказують потреби покупців.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Високі технічні можливості	Ідея комплексу діагностування використовує новітні технології у сфері акустики з меншими затратами ресурсів (людських та матеріальних)
2	Конкуренти	Існує мала кількість аналогічних продуктів, їх виробники зосереджені на своїх регіонах. Потенційні конкуренти виготовляють товари-замінники, які не відповідають вимогам по якості.
3	Іноваційність	Даний продукт змінить ситуацію в галузі в кращу сторону за рахунок високої технологічності та новизни

Таблиця 4.11. Порівняння сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з АСдОРУМ						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Технічні можливості	20				+			
2	Конкуренти	15				+			
3	Іноваційність	17		+					

Перейдемо до складання матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (SWOT-аналізу) у табл. 4.11.

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Не має діючих аналогів в Україні</p> <p>Адаптовано під українську мову</p> <p>Процедура швидка</p> <p>Економія ресурсів</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Використання лише синтетичних шумів</p> <p>Не вирішує всі задачі, що ставить акустична експертиза</p>
Простота використання навіть для неспеціалістів	
<p>Можливості:</p> <p>Охоплення всіх задач акустичної експертизи</p> <p>Захоплення монополії на ринку</p>	<p>Загрози:</p> <p>Пропонування конкурентами більшої кількості функцій</p> <p>Порівняння можливостей з товарам-замінниками</p>

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Демонстрація можливостей амбасадорами з представленням безкоштовного пробного періоду	Висока	1 міс
2	Продаж пробних зразків	Доволі висока	5 міс
3	Розширення вирішуваних задач та продаж	Доволі висока	6 міс

Отже, потрібно виходити на ринок за допомогою передачі пробної версії продукту деяким користувачам, що мають вагу в сфері акустичної експертизи.

Розробимо ринкову стратегію (табл. 4.15, 4.16), врахувавши цільові групи споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в ме- жах цільової групи (сег- менту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Виробники ав- томобілів	Висок	Вище серед- нього	Низька	Висока
2	Тюнінг-ательє	Висока	Високий	Низька	Висока
3	Спеціалізовані автосервіс	Середня	Середній	Низька	Висока

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Концентрація на розширенні функцій під всі задачі акустичної експертизи	Концентрований маркетинг	Відсутність конкурентів, необхідність потенційних клієнтів	Розширення функцій та забезпечення найбільшої швидкості та точності оцінювання

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Нові споживачі та існуючі у конкурентів	Ні	Відсутня

На основі попередньо визначених у таблицях 4.14-4.16 даних розробимо стратегію позиціонування (таблиця 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентноспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1	Точність вимірювань	Покращення показника	Програмне виконання збору числових даних та розрахунків	Узгодженість з простим суб'єктивним оцінюванням та іншими роботами
2	Адаптованість до національної мови	Розширення тестового матеріалу	Наявність матеріалу	Національна мова
3	Швидкість вимірювань	Покращення показника	Використання гнучкого базового середовища	Випробування за шість годин, а не днів

Розробка маркетингової програми стартап-проекту складається за аналізу потреб користувача (табл. 4.18), опису трирівневої моделі товару (табл. 4.19) та меж встановлення цін (табл. 4.20). Також визначається оптимальна система збуту (табл. 4.21) та концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.22).

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Швидкість вимірювань	Забезпечення на порядок швидшої процедури за наявності	Наявність протестованого комплексу
2	Тестування з врахуванням особливостей національної мови	Можливість адаптації до мови за рахунок розширення тестового матеріалу	Велика кількість тестового матеріалу; можливість вимірювати різні типи розбірливості
3	Точність	Висока точність за рахунок використання машинних обчислень	Наявність протестованого комплексу
4	Економія ресурсів	За рахунок проведення запису тестового матеріалу слухачі та диктори можуть проводити свої частини роботи у будь-якому місці	Автоматизація вимірювань

Таблиця 4.19. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Самостійний пошук товару в інтернеті / серед знайомих	Інформування клієнтів. Представлення повного комплексу програм та забезпечення технічної підтримки	Звичайний	Пряма
2	Дрібнооптова купівля	Знижки для клієнтів	Глибокий	Пряма

Таблиця 4.20. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій якими користуються цільові клієнти	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Виконання великої кількості дослідів	Інтернет, фахові журнали, прями листи, дзвінки, рекомендації	Додати впевненість	Зручність
Необхідність в варіативності тестового матеріалу		Показати, що матеріалу достатньо на будь-який смак	Удосконалення виробництва
Підлаштування до варіативності умов вимірювань		Адаптивність системи	Постійні оновлення

Висновки до четвертого розділу

Проведений аналіз таблиць 4.1 – 4.22 показав можливість комерціалізації проекту, оскільки ринок має потребу у нині відсутньому товарі такого типу. Група потенційних клієнтів доволі численна, а конкуренти, в свою чергу, малочисельні та не сконцентровані на українському ринку. Тому вихід на ринок є простим. Втримання позицій за появи потенційних конкурентів можливе. Подальший розвиток проекту є актуальним, оскільки задачі діагностування ходової частини авто доволі численні та потребують спрощення їх вирішення. Передбачається розширення бібліотеки тестових матеріалів, розширення функціональних можливостей.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто склад та наявні методи діагностики основних вузлів ходової частини авто. Існуючі методи неточні, оскільки базуються на суб'єктивних відчуттях, а також виявляють вже наявну несправність, а не попереджають її. Були розглянуті методи аналізу на основі яких буде проводитись оцінка стану об'єкта.

Розроблена структурна схема системи діагностування, яка включає в себе багатоканальний пристрій реєстрації сигналу та програмне забезпечення, яке дозволяє проводити діагностику. За допомогою експертного аналізу виявлено місця розташування та кількість датчиків.

Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє робити спрощену (на бортовому комп'ютері авто) і розгорнуту (на ПК) діагностику ходової частини авто. Система діагностування з ПЗ була перевірена на підшипнику ступиці автомобіля Opel Vectra B. Результати підтверджують розрахункові дані.

В ході роботи реалізовано перший етап розроблення стартап-проекту, а саме висвітлення маркетингових аспектів створення стартапу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистика аварійності в Україні [Електронний ресурс] <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm> (Дата звернення 18.10.2017).
2. Положення про випускну атестацію студентів НТУУ «КПІ» [Електронний ресурс] / Уклад.: В.П. Головенкін, В.Ю. Угольніков – К.: НТУУ «КПІ», 2015 – 112 с.
3. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану.
4. ГОСТ 26656-85 Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования.
5. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования: Учебное пособие / В.Н. Костюков, А.П. Науменко, С.Н. Бойченко, Е.В. Тарасов. – Омск: НПЦ «ДИНАМИКА», 2007. – 286 с.
6. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 5. Измерения и испытания. – Под ред. М.Д. Генкина, 1981. – 496 с.
7. Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. – М.: Наука, 1977. – 567 с.
8. Бабак В., Берегун В., Красильников А. Методы и средства вибродиагностики узлов когенерационных установок // Научни известия на НТСМ. – 2017. – №1 (2016). – С. 141 – 145.
9. Левин Б.Р., Шварц В. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления. — М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.
10. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
11. Шелухин О.И., Беляков И.В. Негауссовские процессы. – СПб.: Политехника, 1992. – 312 с.
12. Крамер Г. Математические методы статистики / Пер. с англ. А.С. Монина и А.А. Петрова; под ред. А.Н. Колмогорова. – М. : Мир, 1975. – 648 с.

13. Берегун В.С., Гармаш О.В., Красильников А.И. Среднеквадратические ошибки оценок кумулянтных коэффициентов пятого и шестого порядков // Электронное моделирование. – 2014. – Т. 36, № 1. – С. 17–28.
14. Продеус А. Методи обробки акустичних сигналів. Електронний навчальний посібник. – К., 2008. [Електронний ресурс] <http://aprodeus.narod.ru/teaching.htm#MetodyObrabotki> (Дата звернення 21.09.2018).
15. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно–энергетического комплекса / В.М. Баранов, А.И. Гриценко, А.М. Карасевич и др. – М.: Наука, 1998. – 304 с.
16. Бабак С.В., Мыслович М.В., Сысак Р.М. Статистическая диагностика электротехнического оборудования. – К.: Ин–т электродинамики НАН Украины, 2015. – 456 с.
17. Берегун В.С. Исследование точности аппроксимации симметричных плотностей вероятности ортогональными представлениями по полиномам Эрмита // Электронное моделирование. – 2016. – Т. 38, № 3. – С. 87–97.
18. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.
19. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. – Новосибирск: Изд–во НГТУ, 2011. – 888 с.
20. Берегун В.С., Красильников А.И. Дослідження чутливості коефіцієнта ексцесу діагностичних сигналів // Техническая электродинамика. – 2017, №4. – С.79–85.
21. Гавенко К.О. Програмне забезпечення віброакустичних вимірювань. Дипломна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017 – 65 с.

22. RSA3303A и RSA3308A. Анализаторы спектра реального времени в диапазонах от 3 до 8 ГГц. Краткое руководство эксплуатации. Tektronix, [Электронный ресурс] www.tektronix.com/rsa (Дата звернення 06.03.2018).
23. Анализаторы спектра в реальном масштабе времени RSA3308A. Tektronix, [Электронный ресурс] www.tektronix.com/rsa (Дата звернення 07.03.2018).
24. Анализаторы спектра реального времени. Анализаторы спектра реального времени серии RSA6100A с частотным диапазоном от 6,2 ГГц до 14 ГГц. Tektronix, [Электронный ресурс] www.tektronix.com/rsa (Дата звернення 06.03.2018).
25. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики. – М.: Солон–пресс, 2009. – 247 с.
26. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 284 с.
27. Вибродиагностика: Моногр. / Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С. и др.; Под ред. Г.Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
28. Красильников О.І., Берегун В.С., Гармаш О.В, Полобюк Т.А. Система для акустичного діагностування вузлів теплоенергетичного обладнання // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип (131). – С.107 – 110.
29. ДСТУ ISO 10816–1:2007 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования.
30. Дворник О. О. Віброакустична вимірювальна система. Дипломна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». – К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017 – 86 с.
31. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003 – 608 с.
32. Руководство разработчика для сравнительной оценки Eclipse и Netbeans, [Электронный ресурс] <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/os-eclipsebeans/index.html> (Дата звернення 09.06.2018).

33. Изменения в работе Android, [Электронный ресурс]

<https://developer.android.com/about/versions/nougat/android-7.0-changes?hl=ru>

(Дата звернення 23.10.2018).

ДОДАТОК А

Бланки експертного опитування

Бланк опитування користувачів для виявлення деталей, що частіше виходять зі строю

Ваше ПІБ _____

Марка авто _____

Модель _____

Пробіг _____

Рік випуску _____

Назвіть деталі ходової частини/підвіски, які частіше всього виходили зі строю під час експлуатації Вашого авто:

Бланк опитування сервісних центрів для виявлення деталей, що частіше виходять зі строю

Назва сервісу _____

Марка авто _____

Модель _____

Пробіг _____

Рік випуску _____

Назвіть деталі ходової частини/підвіски, які частіше всього виходили зі строю під час ремонту авто:

ДОДАТОК Б

Результати експертного опитування

